

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SÉRGIO SILVEIRA DE BARROS

**GALVANOPLASTIA: CONTROLE AMBIENTAL NO BRASIL E NA ALEMANHA,
SUAS BASES LEGAIS E TECNOLÓGICAS**

CURITIBA

2016

SÉRGIO SILVEIRA DE BARROS

**GALVANOPLASTIA: CONTROLE AMBIENTAL NO BRASIL E NA ALEMANHA,
SUAS BASES LEGAIS E TECNOLÓGICAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente, do Curso de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial - PPGMAUI, da Universidade Federal do Paraná, da Universidade *Stuttgart* e do SENAI Paraná

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Mônica Beatriz Kolicheski

Co-orientadora:

Prof.^a Dr.^a Daniela Neuffer

CURITIBA

2016

B 277

Barros, Sérgio Silveira de

Galvanoplastia: controle ambiental no Brasil e na Alemanha, suas bases legais e tecnológicas /. – Curitiba, 2016.

135 f.: il.; tabs. : color. : 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial - PPGMAUI, da Universidade Stuttgart e do SENAI Paraná.

Orientador: Prof.^a Dra. Mônica Beatriz Kolicheski

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Daniela Neuffer

Bibliografia: p.128-133.

1. Galvanização. 2. Segurança do trabalho. 3. Sustentabilidade. I. Universidade Federal do Paraná. II. A Kolicheski, Mônica Beatriz. III. Título.

CDD 671.732



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL

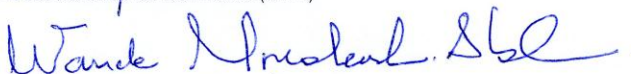
TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **SERGIO SILVEIRA DE BARROS** intitulada: **Galvanoplastia: Controle Ambiental no Brasil e Alemanha, suas Bases Legais e Tecnológicas**, após terem inquirido o aluno e realizado e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua

APROVADO

Curitiba, 16 de Dezembro de 2016.


MONICA BEATRIZ KOLICHESKI
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


WANDA MOSCALEWKI ABRAHÃO
Avaliador Externo (UFPR)


MARIELLE FEILSTRECKER
Avaliador Externo (UFPR)

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela Vida,

AOS MESTRES pelos Conhecimentos,

AOS COLEGAS pelo Companheirismo,

AOS QUE CONHECI NESTE CAMINHO...

... minha Amizade e Orações,

Espero retribuir a todos o muito que aprendi.

À minha Orientadora *Prof.^a Mônica Beatriz Kolicheski* meu reconhecimento por sua
Incansável Capacidade de Ensinar.

À Professora *Margarete Casagrande Lass Erbe* que sempre incentiva os alunos
na *Trilha Ambiental.*

Aos Professores *Daniela Neuffer, Karen do Amaral, Martin Reiner e Jörg Metzger*
que me orientaram durante a permanência na Alemanha...

Vielen Danke! Ich bin Glückliche.

À *Ursula Habel e Francesco Cucinotta* do IZ, *Beate Hauser e Christine Schulmeister*
do ISWA... pelos *Diálogos e Apoios Logísticos em Stuttgart.*

Professoren *Uchi, Karin, Frank und Stefan ... von Deutsch-Sprachkurs:*

Ich wünscht Ihnen ein Leben in Frieden und Erfolg!

À Família *Dettinger* e Empresas Visitadas, ao Ministério do Trabalho do Brasil
e ao *Deutscher Akademischer Austauschdienst – DAAD*
pelo *Acolhimento, Informações, Esclarecimentos e Autorizações.*

Aos Professores da Banca: *Marielle Feilstrecker, Wanda Moscalewski Abrahão,*
Carlos Gontarski e Leandro Wiemes ... pelas Recomendações Acadêmicas Finais.

A todos os Professores do PPGMAUI... pelos *Aulas em Defesa do Planeta Terra.*

À *Maria Izabel, Ellen, Gustavo, Laura, Anita, Márcia, Adélia, Irmãos,*
Cunhadas e Sobrinhos.

Meu Clã... pelo Estímulo, Paciência e Amor.

“Sustentabilidade é uma equação entre o que é economizado e o que é desperdiçado. Quanto mais se economiza e menos se desperdiça, mais sustentável é a equação.”

Jaime Lerner, arquiteto e urbanista.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo dos processos de controle de efluentes e emissões industriais de empresas galvânicas no Brasil e Alemanha. Foram avaliadas as tecnologias adotadas e as legislações ambientais pertinentes, destacando-se parâmetros químicos e obrigações legais relevantes para o meio ambiente e para a segurança dos trabalhadores. Os riscos associados aos processos galvânicos e seus aspectos sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente são relevantes e devem ser estudados. A pesquisa sobre as legislações permitiu identificar a natureza das leis, sua hierarquia e funcionalidades, as quais explicam as visões do Brasil e da Alemanha sobre questões ambientais. Os objetos de pesquisa foram empresas de galvanoplastia de porte médio, de onde se verificaram questões operacionais do dia-a-dia, as formas de controle dos resíduos galvânicos e os métodos de tratamento no Brasil e na Alemanha. A pesquisa foi realizada a partir de questionário, previamente elaborado, que evidenciou as inconformidades relacionadas às normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho e as medidas de prevenção da poluição. O questionamento, baseado em critérios gerenciais, tecnológicos, de segurança do trabalho e de controles ambientais, permitiu inicialmente uma visão ampla das empresas até alcançar detalhes técnicos específicos. A sistematização das respostas obtidas permitiu a comparação das estratégias de produção, evidenciando facilmente os pontos fortes e fracos de suas ações, particularmente as de controle ambiental voltadas para emissões e lançamento de efluentes. Os resultados obtidos mostram que o Brasil possui padrões de produção industrial, em galvânicas, semelhantes aos da Alemanha sob o ponto de vista tecnológico. Contudo, a legislação ambiental brasileira mostra-se mais complacente em relação aos contaminantes existentes nas atividades galvânicas. Com o estudo foi possível propor a reformulação da Norma Regulamentadora NR 25 do Ministério do Trabalho que trata de resíduos industriais. Esta norma da inspeção federal do trabalho foi analisada em suas edições de 1978 e 2011. A comparação das edições demonstrou os avanços ocorridos, porém insuficientes para mudar a mentalidade ambiental das empresas. A reformulação da NR 25 deve incorporar os conceitos de produção mais limpa, produção limpa, ecologia industrial e consumo sustentável. Por isso, a nova NR 25 a ser proposta poderá constituir-se em um Programa de Redução de Resíduos Industriais, no qual a empresa reduzirá e controlará a poluição pela minimização da geração de resíduos.

Palavras-chave: galvanização; controle de efluentes; legislação; segurança do trabalho; produção limpa; sustentabilidade.

ABSTRACT

This work had the objective of achieving a comparative study of effluent and emission controlling processes of galvanic companies in Brazil and Germany. The adopted technologies and the related environmental legislation were evaluated, emphasizing the relevant chemical parameters and legal obligations toward environment and workers' safety. The risks associated to galvanic processes were emphasized as well as their aspects over human health and environment; they are relevant and must be studied. The research about legislation permitted to identify the nature of law, the hierarchy and functionality, which explain the visions of Brazil and Germany about environmental questions. The research objects were galvanic companies of medium size, from where diary operations, the ways of controlling the galvanic waste and the methods of treatment were checked in Brazil and in Germany. The research was taken by a questionnaire, previously prepared, which emphasized the nonconformities related to the labor safety and health rules and the pollutant prevention measures. The questionnaire, based upon managerial, technological, of safety and health at work and of environmental controls criteria, allowed an initial whole view of the companies as far as reach specific technical details. The systematization of the obtained answers conducted to the comparisons of production strategies, easily showing the strong and weak points of the companies' actions, particularly those from environmental controlling toward emissions and effluents discharge. The achieved results show, under the technological point of view, that Brazil has industrial production patterns, in galvanics, similar to those in Germany. However, the Brazilian environmental legislation presents itself as more complacent in relation to the existing pollutants in the galvanic activities. With the study it was possible to propose the reformulation of the Regulamentary Norm – NR 25 from Ministry of Labor that deals with industrial waste. This federal labor inspection norm was analyzed in its 1978 and 2011 editions. The comparison of the editions demonstrated the advances that occurred, however considered not enough to change the mentality of the companies about environment. The reformulation of the NR 25 must incorporate the concepts of cleaner production, clean production, industrial ecology and sustainable consumption. Therefore, the new NR25 may be proposed as a Program of Industrial Waste Reduction through which the company will reduce and control the pollution by the waste producing minimization.

Key words: galvanization; effluent control; legislation; safety at work; clean production; sustainability

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA DE ELETRÓLISE EM GALVANOPLASTIA.....	21
FIGURA 2 – ETAPAS DO PROCESSO GALVÂNICO E SEUS INSUMOS.....	23
FIGURA 3 – TANQUE DE LAVAGEM, CORREDOR DE INSPEÇÃO E BARRAMENTOS ELÉTRICOS	28
FIGURA 4 – CROMAÇÃO E EXAUSTOR COM CAPTADOR-FRESTA	29
FIGURA 5 – DEPÓSITOS DE PRODUTOS QUÍMICOS: IRREGULAR E REGULAR.....	33
FIGURA 6 – ETAPAS DE GALVANIZAÇÃO ELETROLÍTICA E SEUS <i>OUTPUTS</i>	34
FIGURA 7 - TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES GALVÂNICOS	36
FIGURA 8 – TROCADORES IÔNICOS	39
FIGURA 9 – LAVADORES DE GASES EM GALVÂNICAS: VERTICAL E HORIZONTAL	41
FIGURA 10 – VISÃO INTERNA DE LAVADOR VERTICAL, VISÃO EXTERNA DE LAVADORES VERTICAIS E HORIZONTAIS.....	43
FIGURA 11 – FILTRO PRENSA, LODOS GALVÂNICOS EM CAÇAMBAS E À CÉU ABERTO	44
FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DAS AÇÕES PARA O CONTROLE DE RESÍDUOS	72
FIGURA 13 – AÇÕES E PROGRAMAS PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO	75
FIGURA 14 – PORTAL AUTOMÁTICO COM GANCHEIRAS	98
FIGURA 15 – GANCHEIRAS E PEÇAS DE ALUMÍNIO PARA GALVANIZAÇÃO	99
FIGURA 16 – BANHOS DE LAVAGEM, DE CROMAÇÃO E DE COBREIAÇÃO	100
FIGURA 17 – SISTEMA DE EXAUSTÃO E LAVADOR DE GASES	101
FIGURA 18 – LIXADEIRA/POLIDEIRA, PRÉ-TRATAMENTO E SISTEMA DE EXAUSTÃO	102
FIGURA 19 – ÁREAS DE BANHOS, TANQUES DE CROMAGEM E NIQUELAGEM	102
FIGURA 20 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM E DEPÓSITO DE LODO GALVÂNICO	103
FIGURA 21 – TANQUES DE DESENGRAXE, LAVAGEM, PASSIVAÇÃO E LAVAGEM FINAL	104
FIGURA 22 – BARRAÇÃO COM PÓRTICO SEMIAUTOMÁTICO, SISTEMA DE EXAUSTÃO, LAVADOR DE GÁS E ESPECTOMETRIA	105
FIGURA 23 – CILINDROS DE DIREÇÃO HIDRÁULICA E CILINDROS DE FREIO DE LOCOMOTIVA	106
FIGURA 24 – TANQUE DE SEDIMENTAÇÃO, FILTRO PRENSA E CAÇAMBA COM LODO	106

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – USO DE METAIS, SEUS IMPACTOS SOBRE A SAÚDE HUMANA E ASPECTOS NO MEIO AMBIENTE	31
QUADRO 2 – INCOMPATIBILIDADE QUÍMICA	32
QUADRO 3 – CONCENTRAÇÃO DO METAL EM SOLUÇÃO APÓS PRECIPITAÇÃO	37
QUADRO 4 – PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES NO BRASIL	48
QUADRO 5 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR NO BRASIL	50
QUADRO 6 – PADRÕES DE EMISSÃO POR TIPO DE FONTE POLUENTE	51
QUADRO 7 – EMISSÕES POR CLASSE DE PARTICULADOS INORGÂNICOS E TAXA DE EMISSÃO	52
QUADRO 8 – PADRÕES DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO INORGÂNICO MISTURADO.....	52
QUADRO 9 – PADRÕES DE EMISSÃO DE SUBSTÂNCIAS GASOSAS EM GALVÂNICAS.....	53
QUADRO 10 – LEIS AMBIENTAIS DA ALEMANHA - UMWELTRECHTS	54
QUADRO 11 – MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ÁGUAS RESIDUAIS EM INDÚSTRIAS NA ALEMANHA.....	56
QUADRO 12 – EXIGÊNCIAS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES POR TIPO DE ATIVIDADE	57
QUADRO 13 – CONCENTRAÇÃO-LIMITE EM EFLUENTES NA ALEMANHA	58
QUADRO 14 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR DA COMUNIDADE EUROPÉIA (CE) E DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS).....	61
QUADRO 15 – ESTRUTURA DA DIRETIVA PARA CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR	62
QUADRO 16 – LIMITES DE TOLERÂNCIA DE COMPONENTES QUÍMICOS USUAIS EM GALVÂNICAS	64
QUADRO 17 – LIMITES DE TOLERÂNCIA E FATOR DE DESVIO	65
QUADRO 18 – ANEXO 1 DA NR 28 – GRADAÇÃO DE MULTAS	68
QUADRO 19 – LIMITES MÁXIMOS DE EMISSÕES NO LOCAL DE TRABALHO DA ALEMANHA – TRGS 900.....	71
QUADRO 20 – LEGISLAÇÕES APLICADAS À GALVANOPLASTIA UTILIZADAS PARA COMPARAÇÃO ENTRE BRASIL E ALEMANHA	76
QUADRO 21 – QUESTIONÁRIO E SEUS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DAS EMPRESAS	78

QUADRO 22 – PARÂMETROS PARA EFLUENTES GALVÂNICOS NA ALEMANHA E NO BRASIL	87
QUADRO 23 – COMPARAÇÃO DE PADRÕES DA DIRETIVA EUROPÉIA, OMS E RESOLUÇÃO CONAMA PARA QUALIDADE DO AR	91
QUADRO 24 – LEIS ALEMÃS DE PADRÃO DE QUALIDADE DO AR	91
QUADRO 25 – CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE EMISSÕES GALVÂNICAS NA ALEMANHA E NO BRASIL	94
QUADRO 26 – CONCENTRAÇÕES-LIMITES DE TOLERÂNCIA DA NR 15, ACGIH E TRGS 900.....	96
QUADRO 27 - COMPARAÇÃO DAS FORMAS DE GESTÃO.....	109
QUADRO 28 – COMPARAÇÃO DA GESTÃO AMBIENTAL.....	110
QUADRO 29 – COMPARAÇÃO DA SEGURANÇA E CUSTOS AMBIENTAIS.....	110
QUADRO 30 – COMPARAÇÃO DOS TRATAMENTOS, REUSOS E CONTROLES AMBIENTAIS.....	111
QUADRO 31 – INCONFORMIDADES APRESENTADAS NAS GALVÂNICAS AVALIADAS.....	113
QUADRO 32 – AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO OBSERVADAS.....	114
QUADRO 33 – COMPARAÇÃO DA NR 25, VERSÕES 1978 E 2011	116

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AbwV – Abwasserverordnung

ABTS – Associação Brasileira de Tratamento de Superfície

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists

AIA – Diretiva de Impacto Ambiental

APETS – Associação Paranaense de Empresas de Tratamento de Superfície

BImSchG – Bundes Immissionsschutzgesetz (lei das emissões)

BW – Baden Württemberg

CE – Comunidade Européia

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

CHN – Cianeto

CLT – Consolidação das Leis do Trabalho

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil

CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EKVO – Einkontrollverordnung (automonitoramento ambiental)

EN - Europäisch Normung (normatização européia)

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EPC – Equipamento de Proteção Coletiva

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

DIN – Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão para Normatização)

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat de Figueiredo de Segurança e Saúde no Trabalho

FISPQ – Fichas de Segurança de Produtos Químicos

IAP – Instituto Ambiental do Paraná

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos

ISO – International for Standardization Organization (Organização Internacional para Padronização)

ISWA – Institut für Siedlungswasserbau, Wassergute und Abfallwirtschaft (Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Gestão de Resíduos Sólidos)

MA – Ministério do Meio Ambiente

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

MP – Material particulado

NO_x – Óxidos de nitrogênio

NR – Norma Regulamentadora

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

OIT – Organização Internacional do Trabalho

PCMSO – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional

PIP – Diretiva Européia de Prevenção Integrada da Poluição

POP – Poluente Orgânico Persistente

PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

PPR – Programa de Proteção Respiratória

ppm – partes por milhão

REACH – Register, Evaluate, Authorization, Chemicals (diretiva europeia de substâncias químicas)

SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Paraná

SENAI/PR – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná

SINDIMETAL – Sindicato das Empresas Metalmeccânicas do Estado do Paraná

SINDMETALÚRGICOS – Sindicato dos Trabalhadores Metalúrgicos de Maringá

SMC – Sindicatos dos Metalúrgicos da Grande Curitiba

SO_x – Óxidos de enxofre

SS – Sólidos Solúveis

SST – Segurança e Saúde no Trabalho

SRT – Superintendência Regional do Trabalho

TDS – Total de Sais Dissolvidos

TRGS – Technische Regeln für Gefahrstoffe Arbeitsplatzgrenzwerte (regulamento técnico para limites de tolerância de produtos perigosos nos locais de trabalho)

UE – União Européia

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UMWELTRECHTS – Direitos Ambientais

UNIDO – United Nations for Industrial Development (Nações Unidas para Desenvolvimento Industrial)

UNISTUTT GART – Universität Stuttgart

WHG – Wasserhaushaltsgesetz (lei de gestão da água)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO GERAL	19
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2.	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	CORROSÃO	20
2.2	O PROCESSO GALVÂNICO	22
2.2.1	Pré-tratamento galvânico	24
2.2.2	Eletrodeposição	25
2.2.3	Banhos de lavagem	27
2.3	RISCOS ASSOCIADOS AO PROCESSO GALVÂNICO	28
2.3.1	Armazenagem de produtos químicos	30
2.4	CONTROLE DE EFLUENTES, EMISSÕES, RESÍDUOS SÓLIDOS	34
2.4.1	Efluentes	35
2.4.2	Emissões gasosas	40
2.4.3	Resíduos Sólidos	43
2.5	ASPECTOS LEGAIS SOBRE GALVÂNICAS	45
2.5.1	Legislação ambiental	45
2.5.1.1	Legislação ambiental do Brasil	45
2.5.1.1.1	Legislação sobre efluentes	46
2.5.1.1.2	Legislação de qualidade do ar	49
2.5.1.2	Legislação ambiental da Alemanha	53
2.5.1.2.1	Legislação sobre efluentes	55
2.5.1.2.2	Padrões da qualidade do ar na Comunidade Européia – CE e padrões da Organização Mundial da Saúde – OMS	60
2.5.1.2.3	Legislação de emissões	61
2.5.2	Legislação de segurança e saúde no trabalho - SST	63
2.5.2.1	Legislação de SST no Brasil	63
2.5.2.1.1	NR15 – Atividades e operações insalubres	63
2.5.2.1.2	NR 9 – Programa de prevenção de riscos ambientais NR 7 – Programa de controle médico de saúde ocupacional	65
2.5.2.1.3	Norma Regulamentadora 25 – Resíduos Industriais	67

2.5.2.2	Limites de exposição ocupacional na Alemanha	70
2.6	MEDIDAS PARA PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO	70
3	METODOLOGIA	76
3.1	COMPARAÇÃO ENTRE AS LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA DO TRABALHO NO BRASIL E ALEMANHA	76
3.2	AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA E DO CONTROLE AMBIENTAL ADOTADAS EM INDÚSTRIAS GALVÂNICAS DE PORTE MÉDIO NO BRASIL E NA ALEMANHA	77
3.3	AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DAS NORMAS DE SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO NAS EMPRESAS VISITADAS.....	79
3.4	AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO ADOTADAS PELAS EMPRESAS VISITADAS.....	79
4	OBJETO DE PESQUISA.....	81
4.1	EMPRESAS VISITADAS.....	81
4.1.1	“Empresa A” na Alemanha.....	81
4.1.2	“Empresa B” no Brasil.....	81
4.1.3	“Empresa C” no Brasil.....	82
4.1.4	“Empresa D” no Brasil.....	82
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
5.1	COMPARAÇÃO ENTRE AS LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS NO BRASIL E NA ALEMANHA	84
5.1.1	Natureza das leis ambientais da Alemanha e do Brasil	84
5.1.2	Comparação dos parâmetros legais de lançamento no meio ambiente.....	86
5.1.2.1	Parâmetros de lançamento de efluentes em corpos hídricos.....	86
5.1.2.2	Parâmetros para emissão de poluentes na atmosfera.....	90
5.2	COMPARAÇÃO DE PARÂMETROS NO AMBIENTE DE TRABALHO.....	94
5.3	AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS E DOS CONTROLES AMBIENTAIS NAS EMPRESAS VISITADAS.....	98
5.3.1	“Empresa A” na Alemanha.....	98
5.3.2	“Empresa B” no Brasil.....	101
5.3.3	“Empresa C” no Brasil.....	104

5.3.4	“Empresa D” no Brasil.....	107
5.4	ANÁLISE COMPARATIVA DAS TECNOLOGIAS E CONTROLES AMBIENTAIS DAS EMPRESAS GALVÂNICAS VISITADAS.....	108
5.5	INCONFORMIDADES APRESENTADAS NAS EMPRESAS GALVÂNICAS VISITADAS.....	113
5.6	RESULTADO DA AVALIAÇÃO SOBRE MEDIDAS DE PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO OBSERVADAS NAS EMPRESAS VISITADAS.....	114
5.7	ANÁLISE CRÍTICA DA NR 25	115
5.8	PROPOSTA DE REFORMULAÇÃO DA NR 25.....	119
6	CONCLUSÃO	125
7	PERSPECTIVAS FUTURAS	127
	REFERÊNCIAS	128
	ANEXO 1 - PADRÕES DE EMISSÃO PARA FORNOS DE GRANDE ESCALA NA ALEMANHA	134
	ANEXO 2 - EMISSÕES-PADRÃO PARA PLANTAS QUE OPERAM COM RESÍDUOS DE COMBUSTÃO NA ALEMANHA	135
	ANEXO 3 - PADRÕES DE EMISSÕES SELECIONADAS PARA PEQUENAS CHAMINÉS NA ALEMANHA	135

1 INTRODUÇÃO

As atividades de galvanoplastia assumem nos dias de hoje importância crescente em razão do número de produtos que utilizam a cobertura metálica de superfícies para sua funcionalidade e finalidade. Assim, a galvanoplastia é uma das etapas de produção de diversas indústrias metal mecânicas, microeletrônicas, eletroeletrônicas, automobilísticas, mobiliárias e de semijóias. A cobertura metálica por eletrodeposição ou galvanização eletroquímica confere algumas vantagens aos produtos, tais como proteção contra corrosão, maior resistência mecânica, maior condutibilidade elétrica e efeitos estéticos desejados; razões suficientes para demonstrar a utilidade do processo. A corrosão, no entanto, é o principal fator para a existência de processos galvânicos.

Em muitas empresas galvânicas, o potencial de insalubridade e de contaminação ambiental não estão sob o controle da gestão empresarial. A inspeção do trabalho brasileira freqüentemente se depara com quadros laborais de ruídos intensos, temperaturas elevadas, alagamentos de produtos químicos nos pisos, atmosferas ácidas nos ambientes de trabalho, sistemas de exaustão de vapores deficientes, sobrecarga física excessiva aos trabalhadores, entre outros aspectos. O desdobramento desta realidade é certamente o comprometimento da saúde dos operários e sociedade em geral, a contaminação do ar, das águas e do solo.

Os trabalhadores de empresas de galvanoplastia e outras que disponham de setores com estes serviços requerem acompanhamento médico muito próximo, com avaliações mais freqüentes que a média de outras indústrias, como determina a Norma Regulamentadora 7- Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) (BRASIL,1994).

Segundo SILVA (1999a) as névoas, vapores e gases de ácidos presentes em galvânicas atacam olhos, pele e, principalmente, as vias aéreas superiores (narinas, laringe) e dependendo do tamanho das partículas, chegam até o pulmão. Conforme a concentração do ácido, do tamanho das partículas e da solubilidade dos íons em água, pode provocar irritações nas vias aéreas superiores, lesões no septo nasal, câncer no trato respiratório, bronquite e erosão dentária.

Além dos problemas associados à saúde ocupacional, os metais pesados¹ utilizados nos processos de galvanoplastia como níquel, cromo, zinco, estanho, cádmio, dentre outros, associados a tratamentos ácidos ou básicos podem gerar poluição no meio ambiente. A emissão de vapores tóxicos e efluentes líquidos contendo metais pesados no meio ambiente, sem o devido controle, é um problema grave tanto para a saúde pública como para os ecossistemas, pois compromete a vida.

Entre 1998 e 2004 o Ministério do Trabalho e Emprego do Paraná (MTE) realizou inspeções em empresas de galvanoplastia em Curitiba e na Região Metropolitana, bem como em Londrina, Maringá e suas macrorregiões, incluído a cidade de Loanda, considerada importante pólo na produção de torneiras e materiais hidráulicos do Paraná. A inspeção do trabalho, em segurança e saúde, foi realizada em conjunto com a Fundação Jorge Duprat de Segurança e Saúde no Trabalho (FUNDACENTRO), com o apoio do sindicato das empresas ramo metal-mecânico (SINDIMETAL), dos sindicatos dos trabalhadores metalúrgicos da Grande Curitiba e de Maringá (SMC e SINDMETALÚRGICOS) e da Associação Paranaense das Empresas de Tratamento de Superfícies (APETS).

Após sete anos de inspeção, várias medidas graduais e saneadoras foram implantadas nas instalações industriais de galvanicas; seus resultados foram positivos. Esta dinâmica interinstitucional foi possível, graças aos acordos firmados preliminarmente entre trabalhadores, empresários e governo, que objetivavam reduzir e eliminar inconformidades dos processos galvanicos, respeitar a lei trabalhista, proteger a saúde dos trabalhadores e o meio ambiente do trabalho. Acordos tripartites foram viabilizados a partir da conscientização das partes de que o cenário galvanico paranaense colocava-se muito atrás de outros setores industriais, em termos de qualidade do processo e proteção do ambiente de trabalho e do meio ambiente. Deste modo, longas conversações e estudos técnicos permitiram a deliberação de medidas corretivas necessárias, apontando as falhas e as correções a adotar.

¹ “O termo metal pesado, não possui uma definição única, variando de acordo com o ramo da ciência que o aborda:[...] um toxicologista daria ênfase aos elementos químicos tóxicos aos mamíferos superiores [...] ao agrônomo ênfase seria dada aos elementos químicos tóxicos às culturas vegetais, cuja contaminação dos solos possa diminuir a produtividade agrícola [...] um químico poderia enfatizar os elementos cuja densidade atômica seja superior a 6 g/cm³ [...] do ponto de vista ambiental, o metal pesado pode ser entendido como aquele metal que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos” (Andreoli, Von Sperling e Fernandes, 2001, p. 70).

Inicialmente, o convênio encaminhou-se para a solução de questões básicas como: fornecimento de equipamentos de proteção individual aos trabalhadores, instalação de estrados e bacias de contenção junto aos banhos químicos e de lavagem, identificação de produtos químicos e organização de almoxarifados, realização de exames médicos laborais, instalação de banheiros, vestiários e refeitórios, ventilação e iluminação dos locais de trabalho, verificação da existência de controle de efluentes e realização de estudo econômico-financeiro para instalação de sistemas de exaustão. Por aproximadamente dois anos foram realizadas inspeções apoiadas pelas entidades conveniadas para a solução de questões básicas.

Em momento posterior, aspectos mais onerosos para serem implantados foram objeto de novo acordo, como: implantação de sistema de exaustão de gases e vapores, melhorias no arranjo físico e melhorias de processo, substituição de matéria prima quando considerados necessárias, destinação final de lodos e resíduos sólidos, entre outros. A segunda etapa das inspeções mostrou-se mais morosa e os resultados positivos esperados exigiram das empresas fiscalizadas esforços financeiros para implantar medidas estruturantes no processo. As empresas que não conseguiram se ajustar à legislação vigente tiveram de abandonar as atividades galvânicas.

A questão do controle de efluentes líquidos, emissões gasosas e resíduos sólidos, entretanto, foi considerada nos convênios firmados, de maneira complementar, sem a mesma ênfase dada aos aspectos de saúde e segurança no trabalho. De modo geral, verificou-se a existência de sistemas básicos para o tratamento das águas de lavagens e dos banhos químicos, lavadores de gás e a deposição adequada do lodo gerado. A compreensão geral naquela circunstância era de que a competência para inspecionar requisitos ligados ao meio ambiente pertencia a outros órgãos. Ainda, para corroborar com este entendimento, a legislação trabalhista pertinente ao tema ambiental, a norma regulamentadora NR 25 – Resíduos Industriais, do Ministério do Trabalho (BRASIL, 2011) é genérica, reportando-se à legislação ambiental brasileira como um todo, não possibilitando ao auditor fiscal do trabalho enquadrar com precisão e suficiência as irregularidades encontradas no meio ambiente de trabalho e no meio ambiente externo às empresas.

Assim, a proposta deste estudo foi comparar parâmetros e estratégias para propor uma reformulação da norma regulamentadora NR 25 – Resíduos Industriais, o que possibilitará aos auditores fiscais do trabalho do MTE uma maior eficácia de ação dentro das empresas galvânicas e de outras indústrias com processos químicos, buscando resgatar não somente a saúde do trabalhador como cada vez mais a qualidade ambiental para toda a sociedade. Para tal a Alemanha, país de reconhecida preocupação com o meio ambiente, serviu como referência comparativa para o estudo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Comparar os sistemas de produção e controle ambiental de empresas galvânicas no Brasil e na Alemanha com relação às legislações pertinentes e às tecnologias adotadas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Comparar as legislações ambientais no Brasil e na Alemanha, destacando aspectos e parâmetros para os processos galvânicos que representam avanços ambientais e de saúde do trabalhador.

b) Avaliar a tecnologia adotada em indústrias galvânicas de porte médio no Brasil e na Alemanha.

c) Avaliar as estratégias adotadas nas empresas galvânicas visitadas no Brasil e na Alemanha para o controle dos resíduos industriais.

d) Propor uma reformulação da norma regulamentadora NR 25 – Resíduos Industriais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CORROSÃO

A transformação de materiais por ação química, eletroquímica e mecânica do meio, podendo estar associado ou não a esforços mecânicos, é denominada de corrosão² (HOINKIS, 2015). Esta transformação é danosa, por alterar a estrutura eletrônica dos átomos e moléculas constituintes dos materiais, tornando-os imprestáveis às funções a que se destinam.

A corrosão dos metais ocorre por processo de oxidação, que decorre da transferência espontânea de elétrons dos átomos dos metais para os átomos existentes no ar, onde há oxigênio e umidade (HOINKIS, 2015).

O processo corrosivo prejudica a resistência mecânica, a condutibilidade elétrica e outras características como a transmissibilidade térmica, coeficientes de dilatação e de contração e altera a aparência dos materiais. Pode, inclusive, representar perda significativa de material para o meio, danificando instalações industriais, construções e seus componentes (IGNATOWITZ; FASTERT, 2015).

A maioria das peças utilizadas na indústria e nos transportes é de ferro e aço, suscetíveis à oxidação; sendo que o aço tem em sua composição perto de 98,5% de ferro, 0,5% a 1,7% de carbono e traços de silício, enxofre e oxigênio (ICZ, 2011).

Desta forma, a proteção de superfícies, termo que compreende desde pinturas protetivas até os processos de galvanização, por eletrodeposição, é fundamental para uma série de produtos, máquinas, equipamentos e instalações industriais (GAUTO; ROSA, 2013).

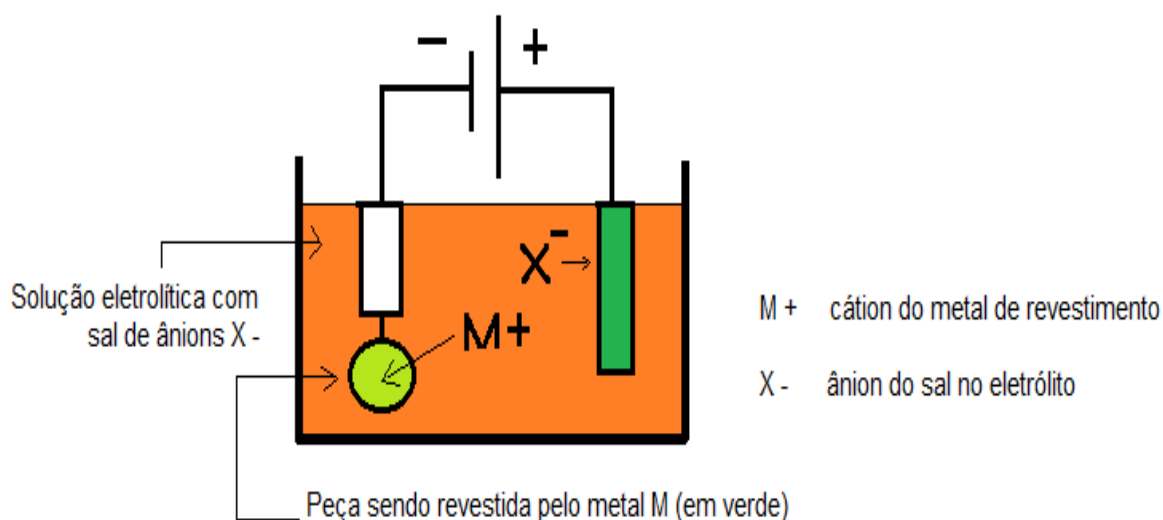
O processo galvânico também conhecido por metais de sacrifício consiste na aplicação de um fino revestimento metálico sobre uma peça pelo uso da energia elétrica (BROWN; HOLME, 2014; WINKEL, 2006). Neste método coloca-se a peça na condição de cátodo (pólo negativo) em um circuito de eletrólise, a aplicação de energia elétrica externa que será transformada em energia química, dinamiza os

² Corrosão química decorre da ação de agentes químicos sobre os materiais, a exemplo dos ácidos.
Corrosão eletroquímica ocorre por meio de corrente elétrica externa, a exemplo das correntes de fuga.
Corrosão mecânica surge por meios abrasivos e mudanças de pressão, a exemplo dos ventos e da cavitação.
(HOINKIS, 2015)

fluxos de cátions e ânions no sistema. A corrente elétrica é aplicada em meio líquido de material fundido ou solução aquosa com sal metálico do material de revestimento, onde se encontram as placas com a peça a proteger e o metal de sacrifício (BROWN; HOLME, 2014)

A FIGURA 1, mostra de modo esquemático, o processo básico de metais de sacrifício ou de galvanoplastia.

FIGURA 1 – ESQUEMA DE ELETRÓLISE EM GALVANOPLASTIA



FONTE: Adaptado de ALFACONNECTION (2016).

A peça imersa, à direita, é denominada de metal de sacrifício ou de revestimento e a peça arredondada, à esquerda, deve ser recoberta. Devido à polarização do banho, ocorre migração de cátions do metal de revestimento (M^+) para a peça a revestir e dos ânions do sal da solução eletrolítica (X^-) para o metal de revestimento (de sacrifício). Ao longo do processo de eletrodeposição, o metal de sacrifício é consumido, devendo ser repostado periodicamente para manter a galvanização (HOIKINS, 2015).

O tipo de metal protetor ou de sacrifício define a denominação do processo de galvanização: niquelagem, cromação, prateação, douração, zincagem, cobreagem, estanhagem, platinagem, chumbagem, latonagem, cadmiagem, arseniagem, antimoniagem, cobaltagem, aceragem e anodização. Este último é o

processo de proteção do alumínio pela oxidação do próprio alumínio, criando uma camada protetora de dióxido de alumínio (BUZZONI, 1991).

2.2 O PROCESSO GALVÂNICO

O presente subitem enfatiza o processo galvânico, a insalubridade e seus potenciais contaminantes. O controle dos resíduos galvânicos (líquidos, gases e sólidos) é mostrado a partir da tecnologia e de conhecimentos operacionais.

Entre os diversos processos galvânicos existentes nas indústrias pode-se citar o de imersão a quente, usualmente utilizado na zincagem de produtos, os sistemas *duplex* que consistem na galvanização a quente, complementada por pintura orgânica, revestimento em pó ou por tinta a base da água. A galvanização eletrolítica, conhecida por eletrodeposição e objeto deste estudo, pode ser contínua ou por batelada (ICZ, 2011).

A galvanoplastia possui uma série de etapas preparatórias que devem anteceder o processo de eletrodeposição propriamente dito, conhecido como pré-tratamento (mecânico e químico) e a etapa final de eletrodeposição. As etapas de pré-tratamento, se observadas corretamente, irão garantir a efetividade da deposição dos metais protetores sobre as peças a galvanizar e a qualidade final da peça (BUZZONI, 1991).

A FIGURA 2 mostra as etapas da galvanização, que se inicia com o pré-tratamento mecânico seguido do pré-tratamento químico, condição necessária para realizar a etapa de eletrodeposição.

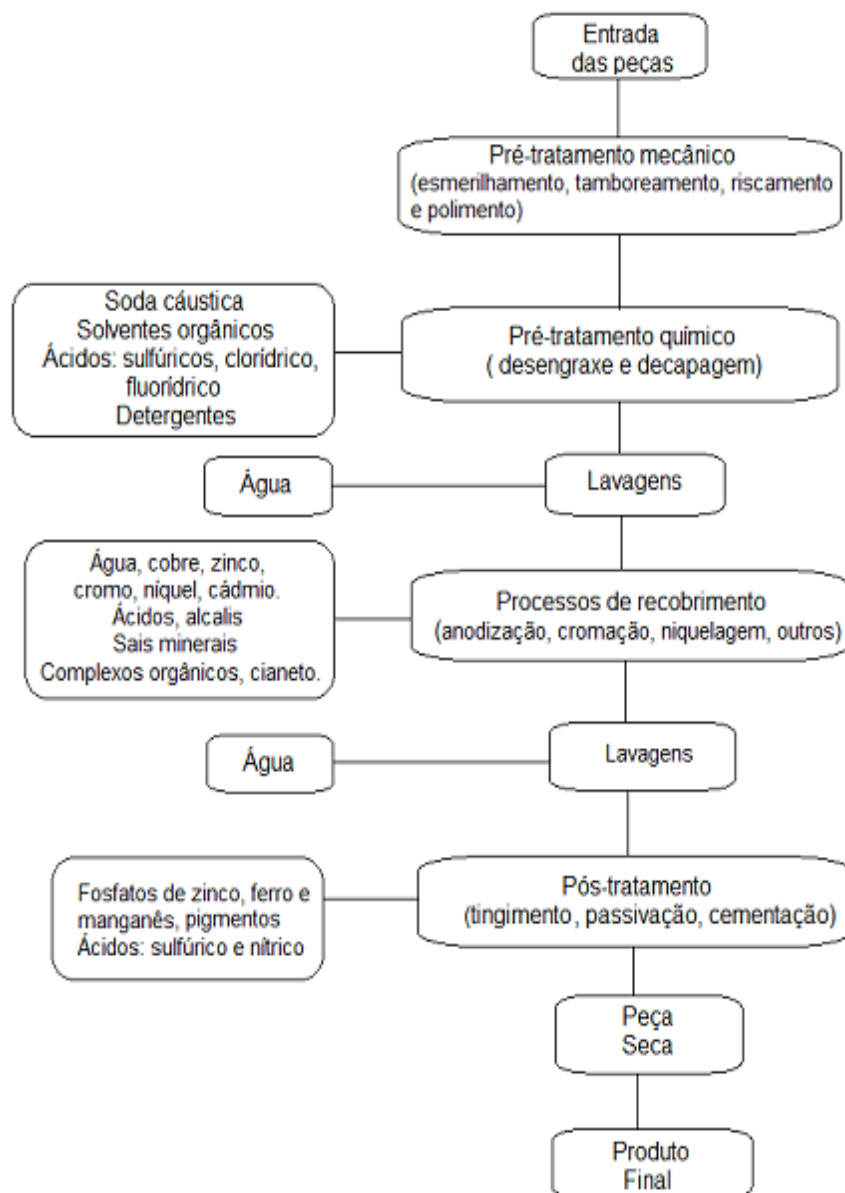
Os banhos de diferentes eletrólitos (cobre, níquel, cromo, outros) são intercalados por banhos com água de lavagem, que garantem a limpeza das peças e evitam o arraste de soluções eletrolíticas.

O processo de recobrimento metálico ocorre por imersão das peças a proteger em banhos com diferentes soluções eletrolíticas, submetidas à corrente elétrica contínua de baixa tensão de 5 a 6 V. As operações de pós-tratamento são complementares e opcionais e visam aumentar a proteção contra a corrosão e conferir maior resistência mecânica às peças galvanizadas (BUZZONI, 1991).

Na FIGURA 2 é possível observar os insumos utilizados em cada etapa do processo galvânico. A utilização de ácidos, soluções alcalinas e sais de metais

pesados é muito comum em galvanoplastia. A água atua como agente de limpeza das peças metálicas em processo, evitando a mistura de diferentes soluções químicas pelo efeito de arraste.

FIGURA 2 – ETAPAS DO PROCESSO GALVÂNICO E SEUS INSUMOS



FONTE: Adaptado de TOCCHETTO (2004).

Este processo gera diferentes tipos de resíduos e, portanto o adequado tratamento dos resíduos industriais galvânicos é fundamental para a proteção do meio ambiente e da saúde humana (VALENZUELA, 2008).

As etapas do processo galvânico apresentados na FIGURA 2 são a seguir abordadas, destacando-se aspectos importantes das operações e resíduos gerados.

2.2.1 PRÉ-TRATAMENTO GALVÂNICO

O pré-tratamento consiste de duas etapas: mecânico e químico, compreendendo a preparação mecânica, o desengraxe e a decapagem. Na fase mecânica as peças a serem galvanizadas podem ser submetidas a operações de esmerilhamento, tamboreamento, riscamento e polimento. Nestas operações são eliminados pelo atrito rebarbas de usinagem, pontos de ferrugem e incrustações nos metais e dependendo do tipo e formato das peças a galvanizar um ou outro equipamento será utilizado. O esmeril é utilizado para peças de tamanho médio, o tambor giratório com esferas para peças pequenas, as escovas metálicas e jateamento com granalha em peças grandes e no polimento usa-se pastas com óxidos de alumínio, de cromo III, de magnésio, de cálcio e de ferro (SILVA, 1999a).

A etapa química do pré-tratamento galvânico inicia-se com o desengraxamento (químico ou eletrolítico) onde são eliminados todas as gorduras, óleos e graxas que possam estar na superfície metálica. A permanência de óleos e graxas poderá interferir na aderência da capa de proteção no metal de base e gerar manchas na superfície tratada (TELLES; COSTA, 2010).

O desengraxamento químico utiliza solventes orgânicos como a gasolina, tri e tetracloretileno, percloroetileno, emulsões de solventes bifásicos como organo clorados e soluções alcalinas de hidróxido de sódio (soda cáustica), carbonato de sódio e fosfato trisódico (SILVA, 1999a).

A solução desengraxante deverá estar em ebulição, para melhorar a eficiência do processo. Os objetos deverão permanecer durante 20 a 25 minutos no banho, retirados e lavados em água corrente, estando prontos para serem submetidos ao próximo banho (BUZZONI, 1991).

O desengraxe eletrolítico é recomendado para matérias ferrosos e nestes banhos utiliza-se soluções de hidróxido de sódio a 30 g/L, fosfato trisódico a 40 g/L, carbonato de sódio a 30 g/L e gluconato de sódio para a ação quelante em banhos com temperatura em torno de 80 °C; neste caso a densidade de corrente elétrica é

de 7 a 10 A/dm² de peça galvanizável. O desengraxe catódico libera hidrogênio e íons hidroxila que são responsáveis pelo desengraxe, fazendo com que a capa de óleo se saponifique. Neste tipo de banho o hidrogênio forma uma névoa que leva as substâncias do banho para o meio ambiente de trabalho, exigindo por isso a implantação de sistemas de exaustão (SILVA, 1999a).

A última etapa do pré-tratamento químico é a decapagem que pode ser alcalina ou ácida. A decapagem alcalina retira dos produtos a galvanizar resíduos do esmeril, pastas abrasivas e de polimento (TELLES; COSTA, 2010). Para isso, utiliza soluções alcalinas de hidróxidos, fosfatos, carbonatos e gluconato de sódio que possui muitos íons metálicos de ferro e cobre para desoxidação de metais. A decapagem ácida, por sua vez, é aplicada para remoção de cascas de fundição das peças (carepas) formadas durante os tratamentos térmicos e de laminação e também dos óxidos em pontos de solda. Na decapagem ácida utilizam-se ácidos minerais como o clorídrico, sulfúrico, nítrico, fluorídrico e fosfórico que são cancerígenos (SILVA, 1999a).

A decapagem ácida utilizando ácido clorídrico é realizada em temperatura ambiente, com solução aquosa com 15 a 17% de HCl, na presença de inibidores para que o ácido não ataque o metal base e de outros aditivos que reduzem a tensão superficial da solução decapante, enquanto que a decapagem que utiliza ácido sulfúrico ocorre à temperatura de 70 a 90 °C em solução aquosa de 7,5 a 15% de H₂SO₄ (ZEMPULSKI; ZEMPULSKI, 2007).

Os ácidos minerais fortes mais usados em galvanicas são o ácido clorídrico, o ácido sulfúrico e o ácido nítrico. O ácido clorídrico é o mais usado nas etapas de decapagem, o ácido sulfúrico é mais aplicado em anodizações (proteção com alumínio) enquanto o ácido nítrico é utilizado como decapante e nos banhos químicos da anodização, com solução de ácidos nítrico, sulfúrico e fosfórico (SILVA, 1999a).

2.2.2 ELETRODEPOSIÇÃO

Nesta etapa, banhos eletroquímicos e banhos de lavagem se sucedem, de modo a permitir a deposição dos metais protetores separadamente. Os banhos de

lavagem das peças evitam o arraste de solução eletrolítica entre os diferentes tanques onde ocorre a eletrodeposição (TELLES; COSTA, 2010).

Na etapa de eletrodeposição são utilizados banhos que contém cianetos e metais pesados, considerados perigosos para a vida e para o meio ambiente. Cianeto de sódio ou de potássio, cianeto de cobre e cianeto de prata são freqüentemente utilizados nos processos, porque formam complexos metálicos muito estáveis, além de exercerem importante papel desengraxante nas peças submetidas à eletrodeposição, pois o pH dos banhos cianídricos está entre 12 e 13. (SILVA, 1999a).

Os elementos químicos considerados metais pesados são a prata, arsênio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo, antinômio, selênio e zinco (BAIRD; CANN, 2011). Suas densidades são maiores que a densidade da água e por isso pode-se sugerir que os metais pesados são decantados espontaneamente no fundo dos tanques de banhos químicos (BAIRD; CANN, 2011).

Entretanto, durante os banhos galvânicos estes metais estão complexados na forma de hidróxidos, tornando-se solúveis na água, sendo portanto, necessário tratamento químico para sua remoção do efluente do processo antes da liberação para o meio ambiente (SILLOS, 2009).

Na cromação são utilizadas soluções contendo ácido crômico ou anidrido crômico (CrO_3) e seus componentes de sais provenientes de eletrólitos e soluções passivantes, os quais são bastante preocupantes na galvanoplastia.

“O banho de cromo é constituído de cromo VI em ácido sulfúrico, formando ácido crômico; e nessa solução há ainda íons complexos de cromo e aproximadamente 3% de íons de cromo III, que se forma no processo de redução do cromo VI a cromo metal [...] uma alta concentração desse íon dificulta a deposição do cromo na peça submetida ao processo galvânico e o íon sulfato funciona com catalisador do processo de cromação; o íon fluoreto tem esse mesmo papel quando utilizados fluorcromatos” (SILVA, 1999a).

“O cromo é um poluente aquático comum, especialmente de águas subterrâneas sob áreas com indústrias de proteção de metais [...] é também o segundo contaminante inorgânico mais abundante de águas subterrâneas sobre locais de resíduos perigosos” (BAIRD; CANN, 2011).

Desta maneira, gestores e operadores de processos galvânicos devem estar permanentemente atentos à utilização do cianeto, dos metais pesados e demais materiais considerados perigosos. Concentrações químicas das soluções

eletrolíticas devem ser adequadas, os tratamentos de efluentes eficazes, bem como a segurança do trabalho (BUZZONI, 1991).

2.2.3 BANHOS DE LAVAGEM

As operações de galvanoplastia são realizadas por sucessão de banhos químicos que conferem às peças tratadas diferentes camadas de cobertura metálica. Entre os diversos banhos químicos há tanques de lavagem com água para retirada de excessos de solução química e permitir a limpeza da peça para o próximo banho (MTE, 2003).

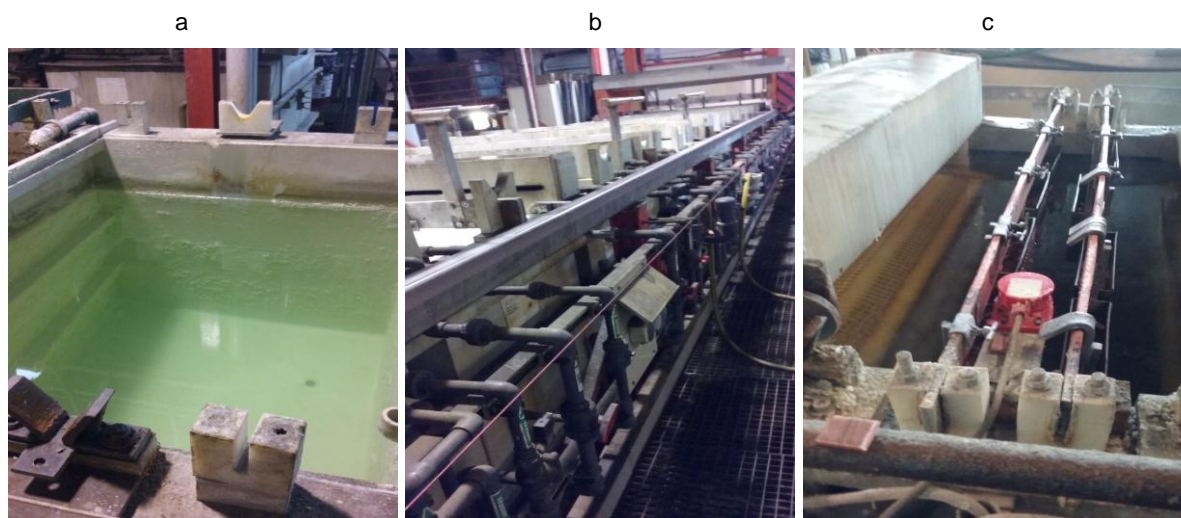
As águas de lavagem devem ser objeto de atenção sanitária por parte dos gestores da produção, pois tanto as soluções dos banhos quanto a água de lavagem não devem ser dispostas diretamente nos corpos hídricos ou nas redes de esgoto, mas obrigatoriamente sofrer processo de neutralização e retirada de ácidos, álcalis, cianetos e metais pesados (BUZZONI, 1991).

Importante medida para diminuir a quantidade de água de lavagem é a diminuição das perdas de soluções químicas no arraste entre os banhos. Bom escoamento e cuidadosa lavagem das peças reduz consideravelmente o arraste. Também é possível utilizar ar comprimido, desde que isento de impurezas para não contaminar as peças que sofrem a galvanização. As peças retiradas do banho de lavagem retêm somente uma pequena parcela de eletrólitos iniciais e a lavagem posterior poderá ser feita com economia de água. O sistema de lavagem seqüenciado é conhecido como sistema em cascata (SILLOS, 2009a).

A FIGURA 3 mostra um tanque com água de lavagem, corredor de inspeção dos banhos com estrado com grelhado para evitar acúmulo de líquidos e cabo de segurança elétrica e os barramentos elétricos dos banhos.

A FIGURA 3(b) mostra o estrado para deslocamento dos trabalhadores, abaixo do qual deve haver contenções e canaletas de piso para coleta das soluções químicas que respinguem dos tanques, as quais são enviadas para o tratamento de efluentes. Neste ambiente, as instalações elétricas para não serem corroídas pelas substâncias ácidas devem estar bem organizadas, isoladas e longe do piso, de acordo com a norma NR10 sobre segurança em instalações e serviços em eletricidade (BRASIL, 2004).

FIGURA 3 – (a) TANQUE DE LAVAGEM, (b) CORREDOR DE INSPEÇÃO E (c) BARRAMENTOS ELÉTRICOS



FONTE: Autor (2015).

A durabilidade da concentração dos banhos eletrolíticos é fundamental para a qualidade do revestimento metálico sobre as peças, o que é alcançado com um manuseio cuidadoso e trabalho limpo, os quais diminuem o arraste de eletrólitos para os tanques de lavagem e consequentemente reduzem o volume de tratamento de águas residuais (BUZZONI, 1991).

2.3 RISCOS ASSOCIADOS AO PROCESSO GALVÂNICO

A atividade galvânica é um dos setores mais críticos no que diz respeito à emissão de poluentes no meio ambiente, tanto no aspecto de grandes volumes de descarte como também pelas suas características químicas, as quais são prejudiciais ao meio ambiente e aos seres humanos, se descartados inadequadamente (BORGIO, 2005).

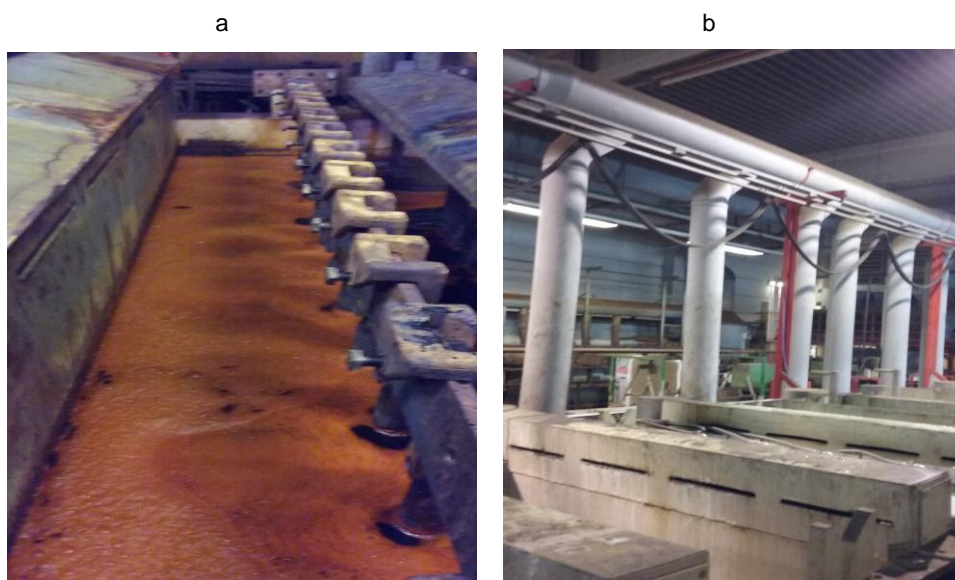
De modo geral, o fato é que as composições químicas usualmente empregadas em processos de galvanização são tóxicas e às vezes letais para os seres vivos (BUZZONI, 1991).

O pré-tratamento mecânico, por exemplo, gera muito pó metálico e ruídos nos locais de trabalho, sendo necessário o uso de máscaras respiratórias, óculos

de segurança, protetores auriculares, botas de segurança e luvas de raspa de couro para a proteção dos trabalhadores. Nas empresas é comum encontrar condições ergonômicas irregulares, como posturas erradas e esforços excessivos com carregamento de materiais (MAGARIFUCHI et al, 2007).

Os ácidos utilizados nos processos galvanicos liberam névoas de produtos tóxicos, devido à formação de hidrogênio que arrasta estes componentes para a atmosfera do ambiente de trabalho (SILVA, 1999a). Para minimizar os riscos ao trabalhador, a névoa produzida, por exemplo, de ácido crômico, nos banhos é captada por sistema de exaustão, como mostra a FIGURA 4.

FIGURA 4 – (a) CROMAÇÃO E (b) EXAUSTÃO COM CAPTADOR-FRESTA



FONTE: Autor (2015).

Em razão de riscos de acidentes e queimaduras na pele e olhos com os ácidos são necessários equipamentos de proteção como botas impermeáveis de cano alto, luvas longas impermeáveis, aventais impermeáveis, protetores faciais ou óculos de segurança, além da presença de chuveiros de emergência e lava-olhos de acordo com a Norma Regulamentadora 6 (BRASIL, 2001).

“A maioria dos banhos galvanicos contém cianetos e metais pesados que são perigosos para a vida e para o meio ambiente [...] cianeto de sódio ou de potássio, cianeto de cobre e cianeto de prata são freqüentemente utilizados nos processos, porque formam complexos metálicos muito estáveis, além de exercerem importante papel desengraxante nas peças submetidas à eletrodeposição, já que o pH dos banhos cianídricos está entre 12 e 13 [...] a proximidade entre os tanques de cianeto com os banhos de solução ácida ou de águas de lavagem que contem íons cianeto ou íons de H^+ , podem formar o gás cianídrico que poderá ser fatal

dependendo da concentração [...] o cianeto no organismo adere ao ferro da hemoglobina e ocupa o lugar do oxigênio, impedindo a troca gasosa entre CO_2 e O_2 , podendo gerar morte por asfixia [...] em baixas concentrações os cianetos causam dores de cabeça, fraqueza, confusão mental, vertigem, ansiedade, náusea e vômito. Para casos de envenenamento, surge um odor de amêndoas amargas no ar seguido de distúrbios cardiorespiratórios graves e morte [...] o único antídoto para os cianetos é o nitrito de amila.” (SILVA, 1999a).

A galvanoplastia utiliza diversos metais pesados que podem ser tóxicos, sendo encontrados tanto nas soluções decapantes quanto nas soluções de eletrólitos.

“O organismo humano se ressentir na presença de metais pesados porque estes dificultam a absorção de nutrientes e por não serem metabolizados, permanecem no organismo combinando-se com outros grupos reativos que deveriam ser úteis à fisiologia do organismo [...] os efeitos dos metais pesados sobre o organismo se manifestam através de alterações na pele, membrana pulmonar, trato intestinal, efeitos mutagênicos, teratogênicos, carcinogênicos e até a morte.” (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

O QUADRO 1 mostra alguns impactos dos metais pesados e substâncias químicas de galvanoplastia na saúde humana e aspectos sobre o meio ambiente.

Os metais pesados são cumulativos no organismo humano. De difícil excreção acabam por comprometer a fisiologia dos sistemas nervoso, hepático, gastrointestinal, circulatório, entre outros (BRITO FILHO, 1988).

O cianeto poderá provocar dor de cabeça, fraqueza, confusão mental, vertigem, náusea e vômito; e no caso de envenenamento, alterações na pressão sanguínea e nos batimentos cardíacos, podendo ocorrer óbito (SILVA, 1999a). A concentração máxima permitida de exposição laboral é de 10 mg/m^3 para uma jornada de trabalho de 8 horas. Óbitos ocorrem quando a concentração alcança 100 mg/m^3 para uma hora de exposição ao HCN (VALENZUELA, 2008).

Os metais pesados e o cianeto não devem ser liberados no meio ambiente, pois prejudicam a biota, as águas e os solos (BAIRD; CANN, 2011).

2.3.1 ARMAZENAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS

Aspecto de suma importância para o controle dos contaminantes da galvanoplastia é a organização do depósito de produtos químicos, onde podem ocorrer vazamentos, incêndios, explosões e queimaduras.

Segundo Magarifuchi et al (2007), os produtos químicos devem estar adequadamente armazenados, com boa ventilação local, longe e fora da área de produção. Os pisos dos depósitos devem ser impermeáveis e estar providos de sistema de contenção para retenção dos produtos químicos em caso de vazamentos.

QUADRO 1 - USO DE METAIS, SEUS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA E ASPECTOS NO MEIO AMBIENTE

Elemento	Processo e/ou etapa	Impactos na saúde do trabalhador	Aspectos no meio ambiente
Alumínio	Anodização, Coagulante e floculante na condição de policloreto de alumínio	No organismo afeta a absorção de fósforo, causa fraqueza, doenças nos ossos e anorexia; associação com Mal de Alzheimer.	Presente nos solos e águas pode dificultar a vida da microfauna aquática e dos peixes.
Arsênio	Indústrias de fabricação de vidro, tintas, ferro, aço, pesticidas, herbicidas. Combustão de carvão	Metalóide, considerado veneno e remédio na Idade Média. Afeta o sistema cardiovascular; causa danos gastrointestinais, vômitos e diarreias; cancerígeno.	Presente no carvão fóssil, em pesticidas e herbicidas, ração de frangos contamina solos, água e vegetais. Regiões com maior contaminação: China e EUA
Bário	Indústrias de fogos de artifício, na elaboração de cores, vidro e ETes. Eliminação de sulfatos na condição de cloreto de bário	Hipertensão por estímulo ao sistema cardiovascular, rigidez muscular.	Oxidável pelo ar, sendo seus compostos solúveis em água ou em ácido. Possui toxidez que pode comprometer a fauna aquática.
Cádmio	Cadmiagem eletrolítica Indústria de baterias, acumuladores Minerações Fundições	Tóxico agudo, causa disfunções renais, hepáticas e osteopatias degenerativas; lesões pulmonares; pode ser cancerígeno. Emagrecimento, gosto metálico na boca, pele amarelada, problemas nervosos.	Fertilizantes com cádmio contaminam solos e água. O cádmio é cumulativo, porém não é biomagnificado. Regiões com maior contaminação: Japão e Europa central
Cromo	Eletrodeposição: cromo duro e cromo decorativo. Curtimento de couro.	Cromo trivalente é essencial como nutriente, não tóxico e pouco absorvido pelo organismo. O Cromo hexavalente é muito tóxico, afeta os rins e sistema respiratório.	Afeta os peixes e os microrganismos. Cromo VI é móbil em solos, podendo ser reduzido a cromo III, menos móbil em solos ricos com matéria orgânica.
Cobre	Cromo decorativo Banho de cobre alcalino	Danos funcionais ao fígado e rins. Perfuração do septo nasal, sintomas gastrointestinais como vômitos, dores abdominais, espasmo, tenesmo e choque.	Compostos de cobre são utilizados no combate à proliferação de algas e aos moluscos da esquistossomose. Concentrações de 0,7 a 0,8 mg/L são tóxicas aos peixes; microfauna é afetada a partir de 1,0 mg/L.
Cianeto	Complexação de metais pesados e seus sais. Cromo decorativo Banho de cobre alcalino	Facilmente absorvido pela língua, trato gastrointestinal e pele; pode combinar-se com o citocromo e evitar o transporte de oxigênio.	1,0 mg/L de cianeto com níquel é mais tóxico aos peixes e microrganismos em baixo pH do que 1.000 mg/L com pH 8,0.

FONTE: Adaptado de Nuvolari (2011), Baird; Cann (2011), Valenzuela (2008), Brito Filho(1988).

A NR 10 preconiza que os sistemas elétricos dos depósitos devem ser blindados no acionamento/desligamento de energia e nas caixas de iluminação, assim como deve haver saídas de emergência e extintores de incêndio facilmente acessíveis (BRASIL, 2004).

Demarcações e sinalizações que identifiquem os produtos químicos por sua natureza e riscos são necessárias. Uma boa prática é armazenar recipientes com líquidos em nível mais baixo e produtos sólidos, em menor quantidade, em locais mais elevados. Embalagens que estejam abertas e próximas umas das outras podem provocar reações químicas perigosas.

A presença de líquidos no piso possibilita o risco de contaminações e de acidentes de queda de nível. Os depósitos devem estar fechados para evitar o acesso de transeuntes e curiosos (MAGARIFUCHI et al, 2007).

O QUADRO 2 mostra a incompatibilidade química entre diversos produtos utilizados em galvanicas que podem potencializar os riscos químicos, criando sinergias perigosas entre determinados componentes.

QUADRO 2 - INCOMPATIBILIDADE QUÍMICA

Produtos Químicos	Corrosivo	Tóxico	Inflamável	Oxidante	Risco N/A
Ácido acético (Corrosivo)	Ácido crômico e Ácido nítrico	Cianetos		Perclórico Peóxidos Permanganatos	
Ácido Sulfúrico (Corrosivo)		Sais de cianeto	Clorados Perclorados	Permanganatos	Sais de lítio
Ácido Nítrico (Corrosivo)	Ácido acético	Ácido cianídrico Anilinas Cianetos	Líquidos e gases inflamáveis		Óxido de cromo
Carvão Ativado (Inflamável)	Ácido nítrico e Ácido sulfúrico			Permanganatos	Dicromatos
Cianetos (Tóxico)	Ácidos				
Cobre			Acetileno	Peróxido de hidrogênio	
Líquidos Inflamáveis (em geral)	Ácido nítrico Bromo	Cloro	Alcoóis Cetonas Éteres Hidrogênio Flúor	Nitratos de amônia Peróxidos	Óxido de cromo IV
Metais Alcalinos (sódio) (Inflamável)					Água, Halogenados de potássio, Alcanos, Halogênicos
Prata		Acetileno			Composto de amônia
Peróxido de Hidrogênio (Oxidante)		Anilina	Alcoóis, Líquidos inflamáveis		Cobre, Cromo Ferro: Sais metálicos, Compostos orgânicos Metais em pó

FONTE: Adaptado de SILLOS (2009a).

Sillos (2009) aborda sobre os riscos envolvidos quando diferentes produtos químicos utilizados em empresas galvanicas são armazenados de maneira incorreta nos depósitos. Assim, são incompatíveis quimicamente, por exemplo, o ácido sulfúrico que na presença de sais de cianeto, de clorados/perclorados, de permanganatos, ou de sais de lítio podem provocar acidentes com queimaduras, incêndios e formação de atmosferas tóxicas e letais. O ácido nítrico, por sua vez, em presença de ácido cianídrico, de anilinas e de cianetos potencializam misturas de alta toxicidade. Portanto, o cianeto deve estar isolado dos demais produtos químicos.

Frequentemente encontram-se nas empresas galvanicas depósitos em situação irregular (MTE, 2001). A FIGURA 5 mostra depósitos de galvanicas em situação irregular (a) e regular (b) onde se comprova a necessidade de zelo e rigor para controlar contaminações, acidentes e intoxicações.

FIGURA 5 – DEPÓSITOS DE PRODUTOS QUÍMICOS: (a) IRREGULAR E (b) REGULAR



FONTES: (a) MTE (2001), (b) Autor (2015).

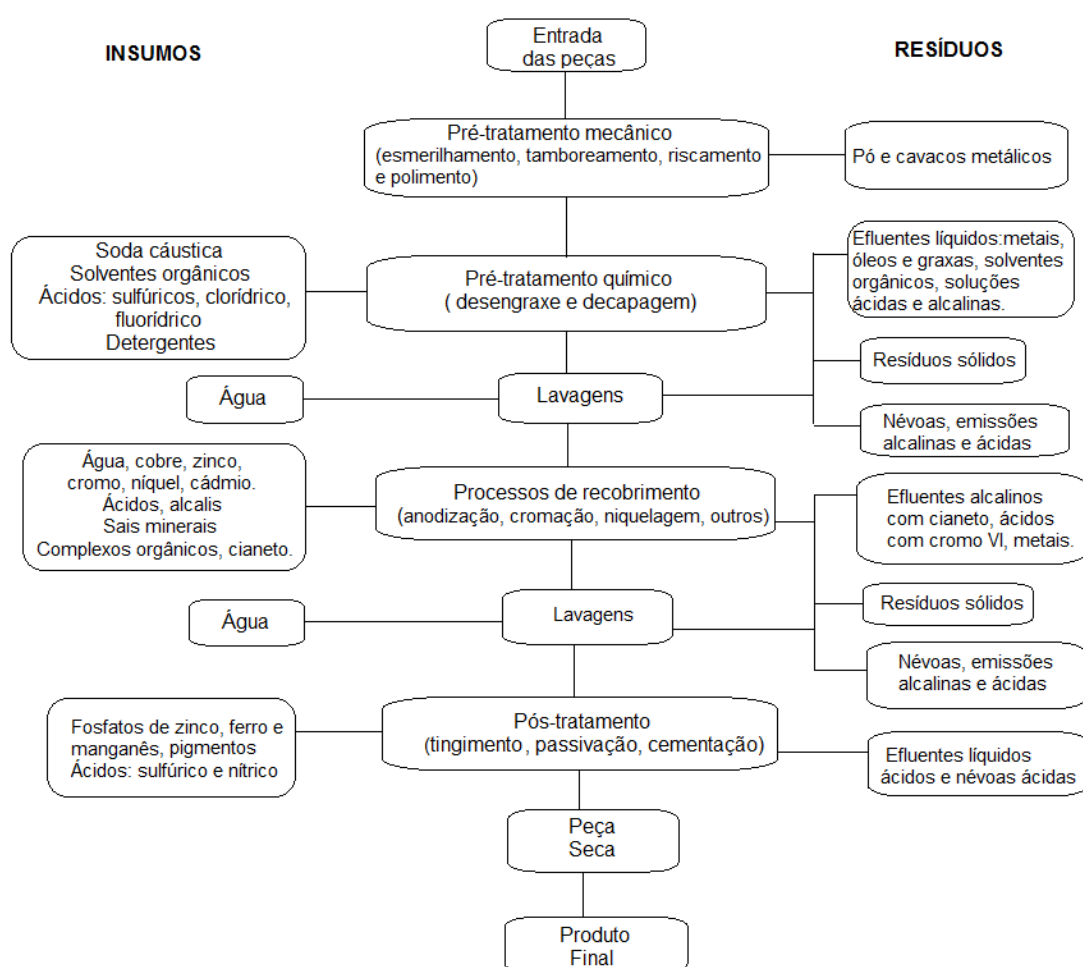
Segundo a NR 15 a rotulação dos produtos químicos deve estar de acordo com as normas técnicas. A apresentação dos símbolos convencionados internacionalmente é fundamental, bem como a existência das Fichas de Segurança dos Produtos Químicos (FISPQ) que mostrem os riscos de manipulação dos produtos e as medidas de emergência necessárias (BRASIL, 1978).

2.4 CONTROLE DE EFLUENTES, EMISSÕES E RESÍDUOS SÓLIDOS

O processo galvanico gera uma série de resíduos com potencial tóxico e danoso para o ser humano e para o meio ambiente. Estes resultam das etapas de pré-tratamento mecânico e químico, eletrodeposição, lavagens e pós-tratamento.

A FIGURA 6 apresenta os *outputs* (resíduos) dos pré-tratamentos mecânico e químico, e do tratamento de revestimento metálico por cromo que requerem atenção especial. Não é viável, do ponto de vista ambiental, permitir o lançamento de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas diretamente no meio ambiente em razão de sérios impactos ambientais. O controle dos resíduos galvanicos danosos ao meio ambiente é uma questão fundamental.

FIGURA 6 – ETAPAS DE GALVANIZAÇÃO ELETROLÍTICA E SEUS *OUTPUTS*



FONTE: Adaptado de SILVA (1991a).

2.4.1 EFLUENTES

A disposição das águas de lavagem, contendo diferentes soluções ácidas, alcalinas e metais pesados, diretamente no meio ambiente inibe e dificulta a autodepuração natural das águas. A biota e a cadeia trófica, nestes lançamentos irregulares de efluentes, poderão ser contaminadas e sofrer magnificação (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Os efluentes galvânicos podem ser basicamente classificados em (CPRH, 2001):

- a) Efluentes crômicos: banhos de cromo em geral, abrilhantadores e passivadores, e suas águas de lavagem;
- b) Efluentes cianídricos: banhos de cobre, zinco, cádmio, prata, ouro, certas soluções desengraxantes e suas águas de lavagem;
- c) Efluentes gerais ácidos: soluções decapantes, soluções desoxidantes e suas águas de lavagem;
- d). Efluentes gerais alcalinos: desengraxantes químicos por imersão e eletrólitos e suas águas de lavagem;
- e) Efluentes quelatizados e óleos: devem ser avaliadas suas quantidades de descartes para definir se há necessidade de separá-los dos efluentes gerais. Em geral, as quantidades destes efluentes são pequenas e seus descartes poderão ser programados e controlados sem maiores problemas.

Os principais poluentes encontrados nos efluentes líquidos galvânicos, por tipo de processo, são o cromo VI, cromo III, cianeto, ferro, zinco, cobre, níquel, estanho para os processos de galvanização; fosfatos, ferro, zinco, cianeto e cromo III nos processos de fosfatização; e alumínio, estanho, níquel e fluor nos processos de anodização (CPRH, 2001).

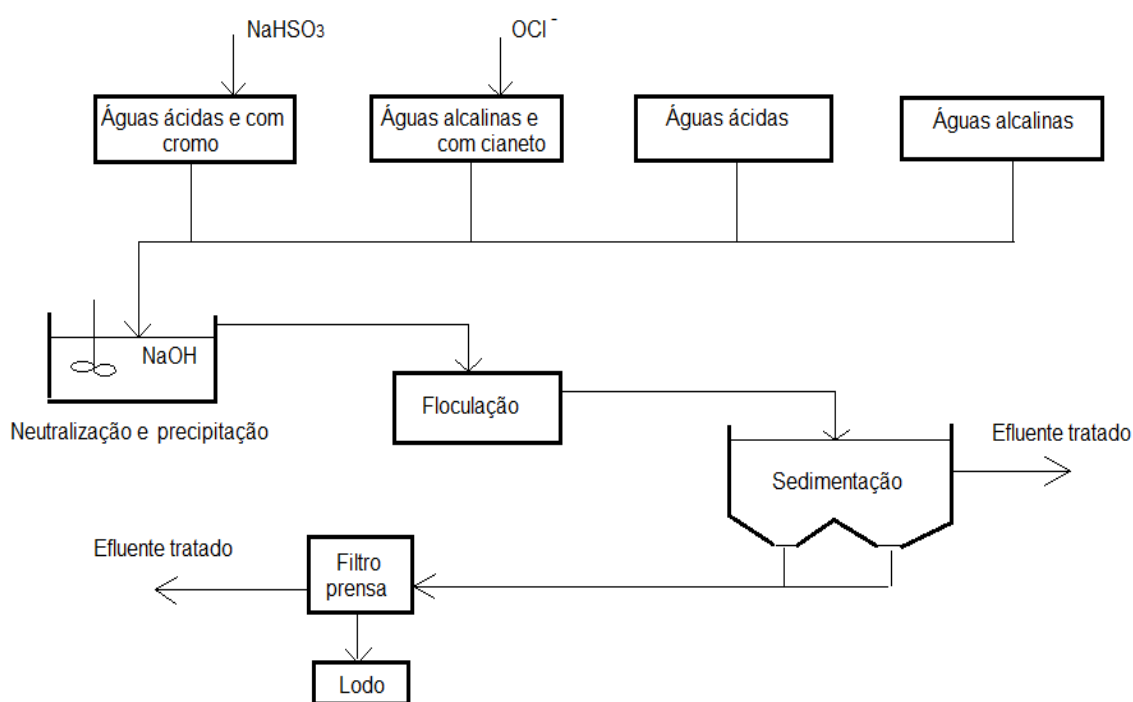
Entre os diversos processos existentes para depuração de efluentes galvânicos pode-se citar o tratamento físico-químico, a troca iônica, a osmose reversa e a reação eletrolítica (VALENZUELA, 2008; SHREVE; BRINK JR, 1997).

Nos processos físico-químicos para controle dos efluentes, a eliminação dos produtos tóxicos ocorre por meio de reações químicas que complexam os contaminantes e sedimentam os mesmos na forma de sais.

A FIGURA 7 mostra, de modo esquemático, as fases do tratamento físico-químico.

Inicialmente, ocorre a adição de NaHSO_3 nas águas ácidas que reage com o cromo reduzindo-o de cromo VI para cromo III, enquanto a adição de íons OCl^- nos efluentes que contém cianeto permite oxidar o cianeto em meio alcalino. Posteriormente, a adição de hidróxido de sódio permite a neutralização da solução e precipitação dos sais metálicos. Na sequência ocorre a floculação permitindo a sedimentação dos sais formados. Do sedimentador, o efluente é enviado para os corpos hídricos e o lodo gerado encaminhado a um filtro prensa que remove o excesso de água (TOCCHETTO, 2004). O lodo resultante da prensagem possui alto teor de metais pesados, devendo ser descartado de modo seguro e ambientalmente correto (VALENZUELA, 2008).

FIGURA 7: TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES GALVÂNICOS



FONTE: Adaptado de TOCCHETTO (2004).

Caso o processo seja em batelada, o efluente é armazenado e submetido ao tratamento em tanque apropriado. Nesta condição, o volume de efluente a ser tratado não deve ser grande, pois são necessários grandes espaços para a implantação dos tanques. Quando o volume a ser tratado é grande utilizam-se processos contínuos como mostrado na FIGURA 7. O tamanho dos tanques deverá

ser dimensionado de tal forma que se obtenha, em cada etapa, o tempo necessário para a reação, considerando-se o fluxo de efluente constante em cada recipiente. Em geral, estima-se 4 horas para o tempo de sedimentação (BUZZONI, 1991).

A maioria dos metais pode ser removida dos efluentes na etapa de neutralização e precipitação pelo aumento do pH, uma vez que seus hidróxidos são insolúveis (SILLOS, 2009a). Entretanto, o cromo VI é uma exceção:

Em pH ácido, o cromo VI está em forma de cromato (solúvel) e em pH alcalino, está na forma bicromato (solúvel) [...] o cromo só passa a ter comportamento dos outros metais na forma trivalente, então este deverá sofrer um tratamento prévio, garantindo que passe à forma trivalente, tendo então, seu pH ajustado. (VALENZUELA, 2008).

O QUADRO 3 apresenta as concentrações de metais pesados após a elevação do pH nos efluentes galvânicos.

QUADRO 3 - CONCENTRAÇÃO DO METAL EM SOLUÇÃO APÓS PRECIPITAÇÃO

Ph	Ferro (mg/L)	Níquel (mg/L)	Cromo III (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Cobre (mg/L)
6,5	0,8	19,2	17,8	18,5	19,2	11,0
7,0	0,4	18,9	13,7	17,5	18,4	5,8
8,0	0	10,8	7,1	9,1	15,2	2,4
8,5	0	2,3	5,0	1,6	4,8	1,7
9,0	0	0,6	3,4	1,5	0,9	1,2
10,0	0	0	0	0,4	0	0,4

FONTE: SILLOS (2009).

Observa-se no QUADRO 3 que zinco e cobre mantêm concentrações altas em solução mesmo com valores de pH elevado (10). Assim, em função do metal que se deseja precipitar, o pH deve ser escolhido de forma adequada na etapa de neutralização e precipitação.

Para Valenzuela (2008) os efluentes quelatizados (cobre e níquel) também não respondem ao tratamento convencional, devido à presença de quelatizante

(citrato de sódio), EDTA³ e amoníaco, que devem ser eliminados, previamente ao ajuste do pH, em estado solúvel.

Os cianetos também devem ser eliminados antes do lançamento do efluente e das águas de lavagem para o meio ambiente.

O cianeto é estável em baixos valores de pH e a legislação admite essa estabilidade em uma concentração de 0,2 mg/L [...] os efluentes cianídricos devem ser previamente oxidados e destruídos, para evitar sua oxidação com o oxigênio dissolvido na água (VALENZUELA, 2008).

O ácido fosfórico aplicado em banhos decapantes, eletrólitos de polimento e soluções passivantes, precisam ser neutralizados antes do descarte das águas de lavagem, uma vez que sua presença na estação de tratamento de efluente da empresa permitirá a eutrofização no sedimentador (BAIRD; CANN, 2011).

Os nitritos usados em banhos de pós-tratamento de cementação⁴, tingimento⁵ e passivação⁶ precisam ser tratados antes de serem descartados com efluente da galvanica. Neste caso a degradação biológica só será possível quando o pH estiver entre 6,5 e 8,5 (BUZZONI, 1991).

Os umectantes e abrillantadores orgânicos que fornecem à película metálica protetora flexibilidade e brilho, contudo geram espuma que é prejudicial aos processos de tratamento como a oxidação do cianeto ou a sedimentação do lodo, podendo inclusive inativar as resinas dos trocadores de íons (BUZZONI, 1991).

O tratamento de efluentes com trocadores de íons ocorre uma reação química em que os íons hidratados móveis de um sólido são trocados, equivalente por equivalente, pelos íons de mesma carga numa solução. A resina trocadora de íons tem uma estrutura aberta, ao modo de uma rede, e os íons móveis neutralizam eletricamente os grupos carregados, ou potencialmente carregados, fixos à matriz sólida, o trocador de íons (SHREVE; BRINK JR, 1997). Desta forma as substâncias que se encontram no efluente são absorvidas nos trocadores de íons e a qualidade

³ EDTA (*Ethylenediamine tetraacetic acid*) ou ácido etilenodiamino tetra-acético é um composto orgânico que age como agente quelante, formando complexos muito estáveis com diversos íons metálicos (VALENZUELA, 2008)

⁴ Cementação – processo termoquímico de aplicação de carbono em peças de aço para aumento da resistência e dureza superficial da peça metálica tratada (FERMAC, 2016).

⁵ Tingimento – processo de coloração de peças metálicas a partir da galvanização e da aplicação de abrillantadores. Ex: cobre (vermelho), cromo (amarelo), níquel (verde/azul) (SANDERQUÍMICO, 2016).

⁶ Passivação – processo eletroquímico de formação de película protetiva sobre superfícies metálicas contra a corrosão (METÁLICA, 2016).

do efluente final permite que este possa ser totalmente reusado no processo (BUZZONI, 1991).

Contudo neste processo é necessária a regeneração das resinas trocadoras de íons o que é feito pela lavagem em contra corrente, com soluções ácidas ou alcalinas. Com isso os poluentes encontram-se novamente em outra solução após o tratamento, em uma concentração mais elevada que a anterior e em volume proporcionalmente menor (BUZZONI, 1991).

A FIGURA 8 mostra um sistema de troca iônica para tratamento de água de lavagem em galvanicas.

FIGURA 8 - TROCADORES IÔNICOS



FONTE: Autor (2015).

A instalação de trocadores de íons tem custos geralmente superiores aos de uma instalação de tratamento físico-químico. Entretanto, não se pode esquecer que os trocadores reduzem os custos e permitem o reuso de água.

O uso de trocadores iônicos permite a recuperação do cromo e de outros metais, nos rejeitos galvanicos e em grau limitado recupera-se o sulfato ferroso nas operações de decapagem (SHREVE; BRINK JR, 1997).

Segundo Tochetto (2004) 75% dos tratamentos de efluentes galvanicos são físico-químicos, porém existem outros sistemas de tratamento de águas residuárias que são muito úteis para garantir a ausência de contaminantes nas águas de lavagem, como a osmose reversa e a ultrafiltração, que garantem pureza próxima de 99,9%.

Os sistemas de osmose reversa e ultrafiltração têm sua operação baseada no princípio da separação dos sólidos em suspensão ou dissolvidos na solução com o uso de membranas. A osmose reversa retém quase todos os sólidos dissolvidos enquanto a ultrafiltração é eficaz na separação de água e óleos emulsificados, sendo muito utilizado pelas unidades de galvanoplastia para separar os metais em suspensão das águas de lavagem. A passagem do líquido (chamado eluato) e a retenção dos sólidos depende do tamanho dos poros da membrana, do tamanho dos contaminantes e da magnitude da pressão aplicada (PACHECO, 2005).

2.4.2 EMISSÕES GASOSAS

O sistema de exaustão dos gases e vapores é requisito obrigatório nestas instalações, evitando que névoas ácidas alcancem o rosto do trabalhador. A exaustão da névoa oriunda dos banhos químicos deve ser direcionada para o sistema de lavagem de gases antes do lançamento final na atmosfera (SOBRINHO, 2002).

Essas névoas podem provocar lesões principalmente nas vias aéreas superiores dos trabalhadores, ou câncer pulmonar, quando provenientes de banhos de níquel, cromo e ácidos minerais. Se liberado no ar atmosférico os vapores sem a devida lavagem em água, serão capazes de produzir incômodos nas comunidades vizinhas e corrosão precoce em instalações (SILVA, 1999a).

Para o tratamento das emissões gasosas existem seis processos principais pelos quais os poluentes gasosos podem ser removidos dos fluxos de ar: por absorção, adsorção, condensação, incineração técnica, incineração catalítica e queima (*flares*). Estes processos essencialmente removem os poluentes do gás carreador resultando em fluxo de ar limpo, que pode ser liberado na atmosfera. O processo de absorção é especialmente aplicável ao tratamento de gases de ácidos inorgânicos existentes na galvanoplastia, possuindo eficiência de 90%, 95% e 98% na retenção de poluentes cujas concentrações são de 250, 1000 e 5000 ppmv respectivamente (SCHENELLE JR; BROWN, 2002).

Os processos de retirada de poluentes baseados na absorção e adsorção são difusos; na absorção o poluente gasoso é transferido para um solvente, o qual é tratado posteriormente por separação física ou química. A adsorção mantém a

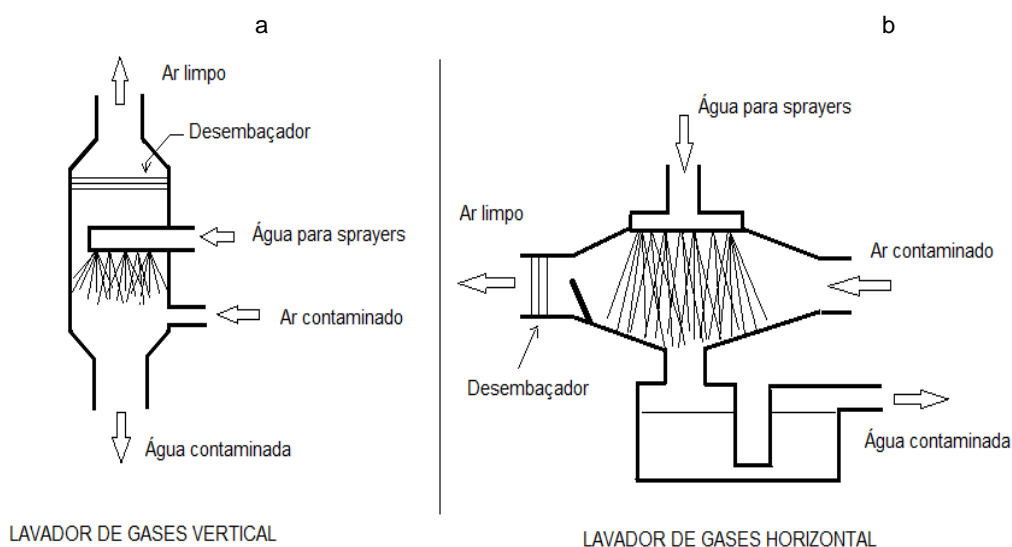
estrutura química do poluente, pois este permanece íntegro na superfície de um produto adsorvente com alta porosidade, como é o caso do carvão ativado, sílica gel ou alumina (SCHENELLE JR; BROWN, 2002).

Os lavadores úmidos (absorção), usualmente utilizam como solvente a água ou outra solução aquosa, tendo o meio de remoção dos poluentes diferentes formas possíveis como gotículas, volumes massivos ou lâminas d'água. Os *designs* dos lavadores úmidos variam consideravelmente, porém são eficientes para capturar partículas e gases, que se coletadas na forma seca, seriam inflamáveis ou perigosas (PHALEN; PHALEN, 2013).

Os *designs* dos lavadores úmidos podem ser do tipo câmara de *spray* ou torre de *spray*, lavadores Venturi, lavadores-ciclone úmidos, filtros úmidos e torres herméticas úmidas; e seus mecanismos para a captura de partículas e gases incluem a difusão, impacto sobre superfícies úmidas ou espargimento de aerosol líquido, a atração eletrostática e a condensação de partículas seguida de compactação. São indicados para partículas com granulometria de 0,5 a 100 μm e gases (PHALEN; PHALEN, 2013).

A FIGURA 9 mostra, de forma esquemática, o princípio básico de funcionamento dos lavadores de gases e vapores, encontrados em processos de galvanoplastia. O lavador vertical, em geral, necessita de mais espaço físico no piso da fábrica, enquanto o modelo de lavador de gases horizontal fica suspenso junto à tubulação de exaustão, próximo a cobertura da edificação industrial.

FIGURA 9 – LAVADORES DE GASES EM GALVÂNICAS: VERTICAL (a), HORIZONTAL (b)



FONTE: Adaptado de PHALEN; PHALEN (2013).

Os lavadores úmidos, usualmente utilizam como solvente a água ou outra solução aquosa, na forma de gotículas, volumes massivos ou lâminas d'água, sendo eficientes para capturar gases (PHALEN; PHALEN, 2013).

A eficiência do sistema de lavagem dos gases depende, segundo Petry (2016) do conjunto captador e transportador dos vapores e gases galvânicos até os equipamentos de lavagem.

Em geral os problemas do sistema de captação e lavagem dos gases podem ser diagnosticados conforme (PETRY, 2016):

- a) velocidade inadequada nas frestas dos captadores;
- b) velocidade inadequada no escoamento dos dutos;
- c) velocidade inadequada no escoamento dos gases no lavador de gases;
- d) recheio do lavador de gases mal dimensionado;

O princípio da proporcionalidade entre a vazão das frestas e a vazão transportada nos dutos, buscando uma velocidade preferencialmente constante de escoamento dos poluentes, até o lavador de gases, deve ser observado no dimensionamento do sistema captação-lavagem para se alcançar eficiência na depuração (PETRY, 2016). Além disso, deve-se também respeitar o critério da velocidade do ar, induzida do ponto mais desfavorável em relação à posição do captador, denominada velocidade de captura, a qual deverá ser suficiente para arrastar o contaminante e opor-se aos efeitos dispersivos das correntes de ar (SOBRINHO, 2002).

Os lavadores de gases podem possuir em seu interior um recheio molhado randômico, constituído geralmente por anéis-pall⁷, que recebe os fluxos de água e do gás, permitindo o máximo contato entre as moléculas da água, ou solução alcalina, com as moléculas dos vapores ou gases ácidos.

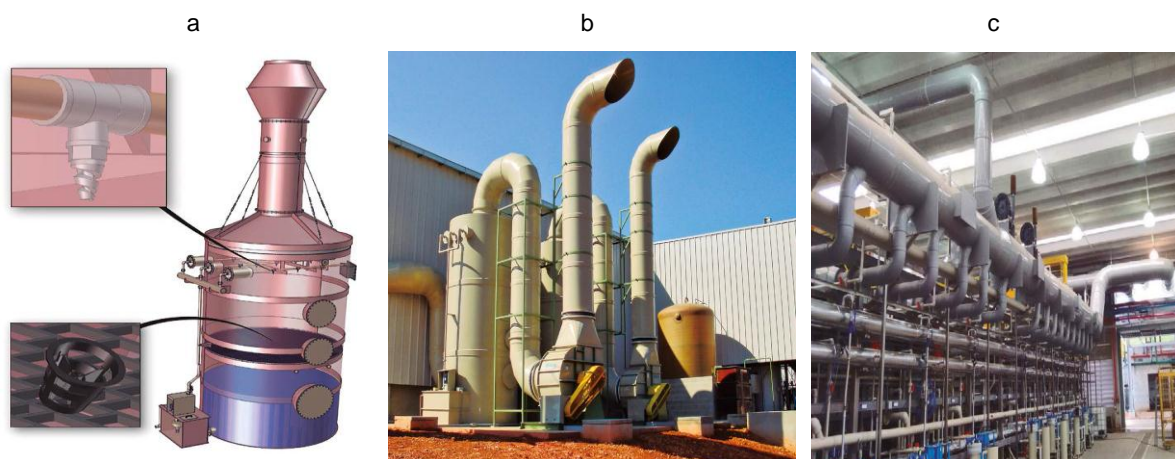
A FIGURA 10 apresenta equipamentos implantados na maioria das empresas galvânicas.

A imagem (a) mostra o interior de um lavador de gases, destacando um dos bicos de *spray*, um dos anéis-pall e o recheio molhado que contém os anéis. Em (b) observam-se lavadores verticais com os ventiladores de sucção e os chaminés de

⁷ Anel Pall – possui aberturas em sua parede lateral e reforços diametrais com a finalidade de permitir o maior contato entre o gás poluente e a água ou solução alcalina. Constitui-se de polipropileno, polipropileno com fibras de vidro ou ligas metálicas.

saída do ar limpo, e em (c) tubulações de captação que conduzem os vapores para lavadores horizontais juntos ao teto.

FIGURA 10 – (a) VISÃO INTERNA DE LAVADOR VERTICAL, (b) VISÃO EXTERNA DE LAVADORES VERTICAIS, (c) HORIZONTAIS



FONTE: PETRY (2016).

2.4.3 RESÍDUOS SÓLIDOS

Cuidado especial deve-se tomar com a disposição final do lodo galvânico, pois a redução da umidade tem um impacto direto no custo de disposição deste resíduo. O lodo deverá ser acondicionado adequadamente em sedimentadores para adensamento de lodo, caso a empresa não disponha de espaço físico existe a necessidade de utilização de filtros prensa (CPRH, 2001).

Para tratar o lodo galvânico existem várias formas conforme apresentados a seguir (BORGIO, 2005):

- a) converter constituintes agressivos em formas menos perigosas ou insolúveis;
- b) alterar a estrutura química de determinados produtos, tornando mais fácil sua assimilação pelo meio ambiente;
- c) destruir quimicamente produtos indesejáveis e separando da massa de resíduos os constituintes perigosos, com a conseqüente redução de volume e periculosidade;
- d) encapsular, método conhecido como solidificação, estabilização, inertização ou fixação, que consiste na estabilização ou imobilização de resíduos perigosos

transformando-os em materiais menos poluentes com a adição de aglomerantes ou por processos físicos.

Entre as possibilidades de encapsulamento, atualmente há várias aplicações industriais para o lodo galvânico. Pode-se utilizá-lo em material cerâmico, em tijolos especiais com chumbo, por exemplo; para aplicação em edificações com instalações com processos radiativos (raio x, radioterapia, etc); como pigmentos corantes na indústria de vidros, como componente para fabricação de cimento, em processos termoplásticos com asfalto, betume, polietileno e polipropileno; no encapsulamento superficial de aglomerados por poliuretanos e resinas de fibra de vidro, dentre outros (BORG, 2005).

A FIGURA 11 mostra um contexto freqüente entre empresas galvânicas, quando após a passagem do lodo hidratado pelo filtro prensa (a), o lodo desidratado é encaminhado para caçamba de coleta para destinação final por empresa especializada (b); ou para disposição do lodo à céu aberto (c).

No caso de disposição a céu aberto (c), há possibilidade de lixiviação de metais pesados para as águas subterrâneas (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). A precariedade da cobertura contra chuvas e a plataforma improvisada de madeira que suporta o lodo não garantem proteção efetiva contra o carreamento de metais pesados para o solo (MTE, 2001).

FIGURA 11 – (a) FILTRO PRENSA, (b) LODOS GALVÂNICOS EM CAÇAMBA, (c) À CEU ABERTO



FONTES: (a,b) Autor (2015), (c) MTE (2001).

Alguns tipos de lodo, após caracterização do resíduo conforme a NBR 10.004, é possível avaliar se o resíduo é reciclável ou não. No caso do lodo não ser

reciclável deve-se procurar uma destinação final adequada ao resíduo. Sugestões de destinação final adequada são aterros industriais, incineração e *landfarming*⁸ (CPRH, 2001).

2.5 ASPECTOS LEGAIS SOBRE GALVÂNICAS

2.5.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

2.5.1.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DO BRASIL

Os princípios da legislação ambiental brasileira estão expressos na Constituição Federal (CF) de 1988, em seu Título VIII, Capítulo VI e Artigo 225. Cláusulas e itens relacionados às atividades potencialmente poluidoras, caso possível para as empresas galvânicas, foram colocados em destaque (BRASIL, 1988):

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:
[...]

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

[...]

§ 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

Assim, compete a todos os entes federados, *incluindo os municípios*, a execução da política ambiental brasileira, como prevê o artigo 23º da CF (BRASIL, 1988):

⁸ Processo de degradação do material por microrganismos em um terreno por escarificação contínua do resíduo com a terra. Adotado para resíduos com baixo poder calorífico e composto essencialmente de matéria orgânica, porém esse resíduo deverá estar isento de metais ou materiais orgânicos tóxicos (CPRH, 2001).

Art. 23º. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

[...]

VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

VII - preservar as florestas, a fauna e a flora;

[...]

XI - registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios.

2.5.1.1.1 LEGISLAÇÕES SOBRE EFLUENTES

A Lei 9.433 de 08/01/1997, conhecida por Lei das Águas, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) do Brasil (BRASIL, 1997). Porém, a questão diretamente relacionada à disposição de efluentes no meio ambiente é detalhada pela Resolução nº 430 de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA 430/2011 refere-se a padrões exigidos em lançamentos diretos e indiretos de efluentes em corpos receptores, exceto quando o efluente for liberado em solo, não podendo neste caso, poluir ou contaminar as águas superficiais ou subterrâneas (BRASIL, 2011).

Entre as definições apresentadas na Resolução, efluente difere de esgoto sanitário. O primeiro decorre de atividades e processos, enquanto o segundo abrange esgotos residencial, comercial, as águas pluviais e eventualmente efluentes industriais. Os lançamentos ditos indiretos são aqueles que sofrem tratamento ou não, e nesse caso recebem outras contribuições de efluentes antes de serem lançados no *corpo receptor* (BRASIL, 2011).

O conceito de zona de mistura, da Resolução CONAMA 430/2011, é considerado o trecho do corpo receptor, entre o ponto de lançamento e a seção à jusante do corpo receptor, em que a diluição do efluente seria aceitável, ou seja, onde é *atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e o corpo receptor, sendo específica para cada parâmetro*. A zona de mistura é definida por modelo teórico e sua aceitação técnica submetida ao órgão ambiental competente (BRASIL, 2011).

Interessante destacar o artigo 13º da Resolução CONAMA 430/2011 que se refere a padrões de qualidade dos corpos receptores em termos de concentrações na zona de mistura, conforme se pode ler (BRASIL, 2011):

Art. 13º- Na zona de mistura serão admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo.

Parágrafo único. A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, quando determinado pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.

Os padrões de qualidade dos corpos receptores são apresentados na Resolução CONAMA 357/2005 que foi parcialmente alterada e complementada pela Resolução CONAMA 430/2011.

De forma geral, os parâmetros físico-químicos das águas dos corpos receptores, constantes na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), são mais exigentes que os parâmetros de lançamento dos efluentes apresentados no artigo 16º da Resolução CONAMA nº 430/2011. Por isso, justifica-se a existência do artigo 13º.

A Resolução CONAMA 430/2011 também enfatiza a obrigatoriedade do tratamento dos efluentes, antes do lançamento, conforme o artigo 3º (BRASIL, 2011):

Art. 3º- Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 no artigo 16º apresenta as condições físico-químicas para o lançamento de efluentes em corpos receptores, conforme os itens abaixo sintetizados (BRASIL, 2011):

- a) pH do efluente deve estar entre 5 a 9;
- b) Temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não excederá à 3 °C no limite da zona de mistura;
- c) Permite-se a presença de óleos e graxas minerais até 20 mg/L e vegetais até 50 mg/L;

- d) É proibido nos efluentes o lançamento de poluentes orgânicos persistentes (POPs);
- e) Processos industriais em que possam surgir dioxinas e furanos deve-se utilizar tecnologia adequada para a redução ou eliminação completa destes componentes;
- f) É possível a presença de material sedimentável até 1 ml/L, com exame de cone Imhoff por uma hora;
- g) Para corpos receptores lagos e lagoas não deve haver material sedimentável;
- h) Proibido material flutuante no efluente e
- i) Vazão máxima do efluente pode ser uma vez e meia (1,5) a vazão média do período diário.

QUADRO 4 – PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES NO BRASIL

Parâmetros Inorgânicos	Valores Máximos (mg/L)	Parâmetros Orgânicos	Valores Máximos (mg/L)
Arsênio total – As	0,5	Benzeno	1,2
Bário total – BA	5,0	Clorofórmio	1,0
Boro total – B	5,0	Dicloroeteno	1,0
Cádmio total – Cd	0,2	Estireno	0,07
Chumbo total – PB	0,5	Etilbenzeno	0,84
Cianeto total – Cn	1,0	Fenóis totais	0,5
Cianeto livre – Cn	0,2	Tetracloreto de carbono	1,0
Cobre dissolvido – Cu	1,0	Tricloroeteno	1,0
Cromo hexavalente – Cr ⁺⁶	0,1	Tolueno	1,2
Cromo trivalente – Cr ⁺³	1,0	Xileno	1,6
Estanho total – Sn	4,0		
Ferro dissolvido – Fe	15,0		
Fluoreto total – F	10,0		
Manganês dissolvido – Mn	1,0		
Mercurio total – Hg	0,01		
Níquel total – Ni	2,0		
Nitrogênio amoniacal – N	20,0		
Prata total – Ag	0,1		
Selênio total – Se	0,3		
Sulfeto – S	1,0		
Zinco total – Zn	5,0		

FONTE: BRASIL (2011).

As empresas galvânicas brasileiras devem atender também aos padrões estabelecidos no QUADRO 4 para o lançamento de efluentes.

Além disso, se houver disposições legais adicionais, mais rigorosas, no âmbito do órgão ambiental regional deverão ser igualmente observadas.

2.5.1.1.2 LEGISLAÇÃO SOBRE QUALIDADE DO AR

Outra fonte de contaminação ambiental em galvânicas são as emissões atmosféricas, decorrentes de vapores ácidos que se formam nos banhos galvânicos. Estes vapores insalubres devem ser retirados do ambiente laboral e submetidos a tratamento químico antes de lançados na atmosfera (SILVA, 1999a).

A Resolução CONAMA 05/1989 estabelece duas modalidades de padrões de qualidade do ar: padrão primário e secundário. Os impactos ambientais estabelecidos pelos dois padrões podem ser assim compreendidos (BRASIL, 1989):

- a) Padrão primário: considerado os níveis máximos admissíveis de concentração de poluentes no ar, além dos quais poderá afetar a saúde da população.
- b) Padrão secundário: considerado níveis abaixo dos quais haverá o mínimo efeito adverso ao bem estar da população, à fauna e flora, aos materiais e meio ambiente em geral.

Os poluentes considerados são as partículas totais em suspensão (PTS), as poeiras inaláveis (PI), o dióxido de enxofre (SO₂), o monóxido de carbono (CO), o ozônio (O₃), o dióxido de nitrogênio (NO₂) e fumaça. As partículas inaláveis podem ser classificadas como partículas inaláveis finas MP2,5 (até 2,5 µm) e partículas inaláveis grossas (de 2,5 a 10 µm). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares enquanto as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório (MACHADO, 2016).

Alguns destes poluentes podem ser liberados para a atmosfera nos processos galvânicos, em razão da presença de elementos químicos como enxofre, nitrogênio comporem ácidos e sais utilizados nos banhos químicos, a exemplo do ácido sulfúrico e ácido cianídrico.

A etapa de pré-tratamento mecânico produz muita poeira metálica. Uma parte sedimentada é recolhida por meio mecânico e outra menor poderá permanecer em suspensão no ambiente laboral e contaminar o meio ambiente externo, se não houver sistema de captação de partículas aéreas (MACHADO, 2016).

O QUADRO 5 com os padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA 003/1990 (BRASIL,1990) mostra as concentrações máximas admitidas para o período considerado de amostragem e as concentrações recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

QUADRO 5 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR NO BRASIL

Poluente	Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PTS	24 horas	240	150	---
	1 ano	80	60	
PI: PM 10	24 horas	150	150	50
	1 ano	50	50	20
PI: PM 2,5	24 horas	Não estabelecido	Não estabelecido	25
	1 ano			10
SO ₂	10 minutos	---	---	500
	24 horas	365	100	---
	1 ano	80	40	20
CO	15 minutos	---	---	100.000
	30 minutos	---	---	60.000
	1 hora	40.000	40.000	30.000
	8 horas	10.000	10.000	10.000
O ₃	8 horas	---	---	100
	1 hora	160	160	---
NO ₂	1 hora	320	190	200
	1 ano	100	100	40
Fumaça	24 horas	150	100	Não estabelecido
	1 hora	60	40	

PTS: partículas totais em suspensão; PI: partículas inaláveis (PM10 <10 μm e PM2,5 <2,5 μm)

FONTE: BRASIL (1990).

A Resolução CONAMA 382/2006 especifica os padrões de emissão de poluentes para treze diferentes fontes fixas, como pode ser visto no QUADRO 6 (BRASIL, 2006).

QUADRO 6 - PADRÕES DE EMISSÃO POR TIPO DE FONTE POLUENTE

Anexo	Fonte	Poluentes
I	Óleo Combustível	NOx, SOx
II	Gás natural	NO ₂
III	Bagaço de cana de açúcar	NOx
IV	Madeira	MP, NOx
V	Turbinas a gás	MP, NOx, CO, SOx
VI	Petróleo	MP, SOx, Cox
VII	Celulose	MP, SOx, Cox
VIII	Fusão secundária de chumbo	MP, SOx, PB
IX	Alumínio primário	MP, Fluoreto total
X	Fusão de vidro	Soda-total, borossilicato, chumbo e outros
XI	Cimento Portland	MP, NO ₂
XII	Fertilizantes Ácido fosfórico Ácido sulfúrico Ácido nítrico	Amônia, Fluoretos e MP Fluoretos totais SO ₂ e SO ₃ NOx
XIII	Siderúrgicas e pelotização de minério de ferro	MP, SO ₂ e NOx

FONTE: BRASIL (2006).

Em fase posterior as Resoluções CONAMA 05/1989 (BRASIL, 1989) e 382/2006 (BRASIL, 2006) foram complementadas pela Resolução CONAMA 436/2011 (BRASIL, 2011), por meio da qual as empresas existentes e com licenciamento ambiental solicitados até 02/01/2007, obtiveram alguns parâmetros menos rigorosos.

A Resolução 16 de 2014 da Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Paraná (SEMA) é bem mais específica ao referir-se aos parâmetros de emissão de poluentes resultantes de atividades de galvanoplastia. Em seu artigo nº 27 informa que (PARANÁ, 2014):

Os empreendimentos que operarem processos de galvanoplastia ou decapagem como cobreamento, niquelagem, e cromação deverão monitorar as emissões dos respectivos metais, ácidos e cianetos usados e apresentar Relatório de Emissões Atmosféricas conforme Portaria 001/2008, até um ano após a publicação desta Resolução.

A definição dos padrões de emissão para as galvânicas pela Resolução SEMA 16/2014 é apresentada nos artigos 66 e 68 (PARANÁ, 2014). O QUADRO 7 mostra as classes de material particulado inorgânico, a vazão de emissão e o padrão recomendado.

QUADRO 7- EMISSÕES POR CLASSES DE PARTICULADOS INORGÂNICOS E TAXA DE EMISSÃO

CLASSE	METAIS PESADOS E COMPOSTOS	TAXA DE EMISSÃO	PADRÃO DE EMISSÃO
I	Cádmio, mercúrio, tálio	> 1,0 g/h	< 0,2 mg/L (na soma)
II	Cobalto, níquel, selênio, telúrio, arsênio	> 5,0 g/h	< 1,0 mg/L (na soma)
III	Chumbo, antimônio, cromo, cobre, manganês, vanádio, estanho, cianetos e fluoretos facilmente solúveis.	> 25,0 g/h	< 5,0 mg/L (na soma)

FONTE: PARANÁ (2014).

Se os materiais particulados inorgânicos estiverem misturados, o que é possível em galvanicas, em razão do sistema de exaustão coletar o ar em diversos pontos da planta, o artigo 67 da Resolução SEMA 16 / 2014 define os padrões de emissão, conforme o QUADRO 8.

QUADRO 8 - PADRÕES DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO INORGÂNICO MISTURADO

Condição	Mistura de classes	Taxa Emissão	Padrão Emissão*
I	Classe I Classe II	> 1,0 g/h > 5,0 g/h	< 1,0 mg/L
II	Classe I Classe III	> 1,0 g/h > 25,0 g/h	< 5,0 mg/L
III	Classe II Classe III	> 5,0 g/h > 25,0 g/h	< 5,0 mg/L
IV	Classe I Classe II Classe III	> 1,0 g/h > 5,0 g/h > 25,0 g/h	< 5,0 mg/L

* valor correspondente à soma dos particulados

FONTE: PARANÁ (2014).

Vapores e gases que emanam dos banhos químicos têm seus padrões de emissão definidos nos artigos 68 da Resolução SEMA 16/2014, mostrados no QUADRO 9.

QUADRO 9 - PADRÕES DE EMISSÃO DE SUBSTÂNCIAS GASOSAS EM GALVÂNICAS

INORGÂNICAS			
Condição	Classes e substâncias	Taxa de Emissão	Padrão Emissão
I	Classe I mais AsH ₃ , CNCl, COCl ₂ , fosfina	> 10 g/h	< 1,0 mg/Nm ³
II	Classe II mais BR, Cl, HCN, HF, H ₂ S, H ₂ SO ₄	> 50 g/h	< 5,0 mg/Nm ³
III	Classe III mais amônia e subst. Voláteis de cloro	> 300 g/h	< 30 mg/Nm ³
IV	Classe IV: SO _x e NO _x	> 5.000 g/h	< 500 mg/Nm ³
V	Classe V: CO	> 10.000 g/h	< 5.000 mg/Nm ³
ORGÂNICAS			
I	Carbono total	3.000 g/h	150 mg/Nm ³
II	Classe I do anexo II, como: ácidos acrílico, fórmico, oxálico, cloreto de ácido acético, dicloropropício 2,2, sais de zinco, etc.	200 g/h	20 mg/Nm ³
III	Classe II do anexo III, como: ácido acético, 1Bromo-3Cloropropano- 1,1Dicloroetano, Nitroetano, Nitrometano, Hexafluorpropeno	1.000 g/h	100 mg/Nm ³

FONTE: PARANÁ (2014).

2.5.1.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DA ALEMANHA

A Legislação Federal Ambiental Alemã – Principais Leis e Regulamentos para a Proteção do Meio Ambiente (*Umweltrecht – Wichtige Gesetze und Verordnungen zum Schutz der Umwelt*), de 2015, compõe-se de doze capítulos, como se pode ver no QUADRO 10.

QUADRO 10 - LEIS AMBIENTAIS DA ALEMANHA - *UMWELTRECHTS*

Capítulo	Título	Título em Alemão
1º	Direito Constitucional Ambiental	<i>Umweltverfassungsrecht</i>
2º	Direito Universal de Gestão Ambiental	<i>Allgemeines Umweltverwaltungsrecht</i>
Leis Especiais de Gestão Ambiental		Besonderes Umweltverwaltungsrecht
3º	Proteção da Natureza, Tratamento das Paisagens, Proteção da Fauna, Proteção do Solo	<i>Naturschutz und Landschaftspflege, Tierschutz, Bodenschutz</i>
4º	Proteção das Águas	<i>Gewässerschutz</i>
5º	Economia de Resíduos	<i>Abfallwirtschaft</i>
6º	Proteção contra Imissões	<i>Immissionsschutz</i>
7º	Proteção contra Radiações Ionizantes e Reatores Seguros	<i>Schutz vor ionisierenden Strahlen und Reaktorsicherheit</i>
8º	Economia de Energia e Renovação Energética	<i>Energieeinsparung und Erneuerbare Energien</i>
9º	Proteção para Materiais Perigosos e para próximas etapas de Técnicas Ambientais e outras Biotecnologias	<i>Schutz vor gefährlichen Stoffen und vor nachteiligen Umweltfolgen der Gentechnik und sonstigen Biotechnik</i>
10º	Direito Privado Ambiental	<i>Umweltprivatrecht</i>
11º	Direito Penal Ambiental	<i>Umweltstrafrecht</i>
12º	Direito Processual Ambiental	<i>Umweltprozessrecht</i>

FONTE: Adaptado de DEUTSCHLAND (2015).

Segundo Fritsche et al (2013), existem mais de 15.000 leis e regulamentos voltados ao meio ambiente na Alemanha. Trata-se de um conjunto de leis individuais, não constituindo uma legislação única e sistêmica.

A indústria de galvanoplastia na Alemanha deve observar a legislação federal, porém especialmente as leis de gestão ambiental referentes aos efluentes (Capítulo 4º) e emissões gasosas (Capítulo 6º) que são indicadas para este segmento (DEUTSCHLAND, 2015).

O decreto sobre a Disposição de Esgoto em Corpos Hídricos (*Verordnung über Anforderungen an das Einleiten Von Abwasser in Gewässer Abwasserverordnung – AbwV, 1997*) e o decreto sobre os Efeitos Ambientais da Poluição do Ar, Fumaça, Poeiras e Assemelhados (*Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge Bundes –*

Immissionsschutzgesetz –BImSchG, 1996) fazem parte do Direito Ambiental – Principais Disposições e Ordenamentos para Proteção Ambiental (*Umweltrecht*) são o foco da gestão ambiental de galvânicas na Alemanha (DEUTSCHLAND, 2015).

2.5.1.2.1 LEGISLAÇÃO SOBRE EFLUENTES

Em função dos produtos químicos utilizados em galvanoplastia serem tóxicos, insalubres e com grande potencial de contaminação ambiental, a legislação alemã exige que a liberação de efluentes galvânicos seja feita por descarte indireto, ou seja, antes de encaminhar os efluentes para as estações de tratamento de esgotos municipais, há necessidade de tratá-los em uma estação de efluentes mantida pela indústria. É vedado o descarte direto dos efluentes galvânicos na rede que conduz o esgoto residencial para que sejam tratados conjuntamente na estação de tratamento de esgotos pública – ETE, de acordo com a Lei de Gestão da Água, *Wasserhaushaltsgesetz - WHG* (DEUTSCHLAND, 2009).

Via de regra, os custos do tratamento em ETEs públicas ficam excessivamente elevados e exige tecnologia adicional para remoção de metais pesados, ácidos, entre outros (BUZZONI, 1991).

A presença de metais pesados nos efluentes pode impactar sobre a saúde pública, fauna aquática, além de inviabilizar os processos biológicos nas ETEs, pois as limitações de metais pesados nos efluentes decorrem principalmente da inibição do crescimento de microrganismos ou à ação tóxica sobre os mesmos (ANDRIOLI; VON SPELLING; FERNANDES, 2001)

Por isso, compete às empresas galvânicas possuir suas próprias estações de tratamento de efluentes e observar os parâmetros químicos ambientais estabelecidos em lei para garantir que seus efluentes não estejam fora dos padrões exigidos pela legislação (DEUTSCHLAND, 1997).

O decreto federal *Deposição de Efluentes em Corpos Hídricos (Abwässerverordnung)* complementa a legislação federal (*Gewässerschutz*). Este decreto apresenta no seu texto inicial sete artigos gerais: campo de aplicação, conceitos e definições, exigências gerais, análises e métodos de medição, ponto de referência das exigências, instrução das exigências e vedações dos decretos (DEUTSCHLAND, 1997).

O decreto federal sobre Deposição de Efluentes em Corpos Hídricos destaca as Análises e Procedimentos de Medição (*Analysen und Messverfahren*) no qual o legislador relaciona parâmetros e procedimentos necessários para a correta medição de elementos químicos existentes nos efluentes, oriundos das mais diversas atividades produtivas. Estes procedimentos são classificados em três categorias, as quais estão mostradas no QUADRO 11 (DEUTSCHLAND, 1997).

QUADRO 11 – MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE AGUAS RESIDUAIS EM INDÚSTRIAS NA ALEMANHA

Parâmetro	Método
<i>I- Procedimentos gerais</i>	
Instruções para a técnica de amostragem	DIN EN 5667-1 edição abr/2007
Amostragem de águas residuais	DIN 38402-11 edição fev/2009
Conservação e manipulação da amostra	DIN EN ISO 5667-3 edição mai/2004
<i>II- Métodos de análise</i>	
Cromo VI	DIN 38405-D 24 edição mai/1987
Cianeto total na amostragem original	DIN 38405-D 13-1 edição fev/1981
Zinco na amostragem original	DIN EN ISO 11885 edição set/2009
Substâncias individuais, parâmetros de soma, parâmetros de grupo	
Indicações de métodos para AOX	DIN EN ISO 9562 edição fev/2005
Indicações para TOC- bzw. Método TNb	DIN EN ISO 12260 edição dez/2003
<i>III – Indicações, comentários e explicações</i>	
Indicações de conceitos de limite/fronteira	

FONTE: DEUTSCHLAND (1997).

Neste quadro são mostrados alguns poucos exemplos entre muitos que constituem o decreto sobre Deposição de Efluentes em Corpos Hídricos (*Abwasserordnung*), o qual ainda explica que os métodos de análise das amostragens de efluentes são aplicáveis para ânions, cátions e seus elementos,

materiais simples ou puros, parâmetros totais, parâmetros de grupo e ainda para método de testes biológicos (DEUTSCHLAND, 1997).

O decreto sobre Deposição de Efluentes em Corpos Hídricos apresenta especificações e parâmetros químicos para diferentes atividades industriais, descritas em 57 anexos. Para cada uma das 57 atividades produtivas existentes nos anexos há exigências para a emissão de efluentes a serem atendidos pelas empresas (DEUTSCHLAND, 1997).

O QUADRO 12 apresenta os tipos de exigências existentes neste decreto.

QUADRO 12 – EXIGÊNCIAS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES POR TIPO DE ATIVIDADE

Item	Exigências	Versão em Alemão
A	Campo de aplicação	<i>Anwendungsbereich</i>
B	Exigências gerais	<i>Allgemeine Anforderungen</i>
C	Exigências iniciais sobre o efluente para a emissão	<i>Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle</i>
D	Exigências sobre o efluente de mistura de soluções	<i>Anforderungen an das Abwasser vor Vermischung</i>
E	Exigências sobre o efluente no local de ocorrência	<i>Anforderungen an das Abwasser für den Ort desAnfalls</i>
F	Exigências de instruções disponíveis	<i>Anforderungen für Vorhandene Einleitungen</i>

FONTE: Adaptado do Anexo 40 da Abwässerordnung (DEUTSCHLAND, 1997).

A natureza da atividade industrial, conforme a insalubridade do processo e o potencial de contaminação do meio ambiente são critérios utilizados para definir as exigências legais apresentadas no QUADRO 12 e que devem ser atendidas pelas empresas. No caso das galvanicas e anodizadoras as exigências que devem ser atendidas, vão de A até E (DEUTSCHLAND, 1997).

Os valores limites aceitáveis para a liberação dos efluentes após os tratamentos químicos na indústria de acordo com o Anexo 40 do *Abwässerverordnung*, são apresentados no QUADRO 13.

QUADRO 13 – CONCENTRAÇÃO-LIMITE EM EFLUENTES NA ALEMANHA

Elemento/material	Galvanoplastia (1) (mg/L)	Anodização (3) (mg/L)
Alumínio	3	3
Amônia	100	--
Ácidos químicos	400	100
Ferro	3	--
Flúor	50	50
Nitritos	--	5
Carvão total	10	10
Fósforo total	2	2
Tóxico p/ ovos de peixe	6	2
AOX	1	1
Arsênico	0,1	--
Chumbo	0,5	--
Cádmio	0,2 (0,3)*	--
Cloro livre	0,5	--
Cromo total	0,5	0,5
Cromo VI	0,1	0,1
Cianeto leve livre	0,2	--
Cobalto	--	1
Cobre	0,5	0,5
Níquel	0,5	--
Prata	0,1	--
Enxofre leve livre	1	--
Estanho	2	2
Zinco	2	2

* kg/t

FONTE: DEUTSCHLAND (1997).

Outras exigências relativas aos efluentes galvânicos, do Anexo 40 do Decreto Federal (*Abwässerverordnung*), estão indicadas abaixo (DEUTSCHLAND, 1997):

a) Exigências para redução dos níveis dos contaminantes nos efluentes

- i. utilização de filtração por membranas, troca iônica, eletrólise, processos térmicos.
- ii. racionalidade no uso de componentes químicos; dosagem correta.
- iii. transposição adequada de peças entre os banhos evitando respingos.
- iv. o reaproveitamento da água de lavagem utilizando lavagem em cascata e a aplicação de troca iônica.
- v. a recuperação dos ácidos EDTA e seus sais nos banhos de cobre e banhos de lavagem.

b) Exigências para aferir a qualidade dos efluentes

- i. exames químicos para determinar a concentração de hidrogênio.
- ii. grau de toxicidade para peixes (Ge1=2) na galvanização de vidro.
- iii. na galvanização de vidro, as exigências sobre mistura de efluentes aplicam-se somente sobre o cobre e níquel.
- iv. comprovação de concentrações de organo halogenados adsorvíveis (AOX) e cloro livre, por exames químicos, para efluentes misturados.
- v. a concentração de redutores no processo de separação de níquel deve ser de até 1 mg/L.
- vi. para os compostos AOX, em oficinas mecânicas, deve-se observar a ausência deste componente em fluídos, lubrificantes e águas de serviço, porém nas galvânicas, deve-se seguir a *Deutsches Institut für Normung* (DIN) 939/2000 para depuração dos efluentes com AOX.
- vii. o tratamento das águas residuais com AOX empregará ferro e sais de alumínio na proporção de 100 mg de AOX para cada 1 kg de ferro ou alumínio.
- viii. sugere-se substituição do ácido cianídrico nos banhos por cianeto livre, o uso de cianeto sem nitrohipoclorito, o que o torna não tóxico.

2.5.1.2.2 PADRÕES DA QUALIDADE DO AR NA COMUNIDADE EUROPÉIA – CE E PADRÕES DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS

A gestão da qualidade do ar na Comunidade Européia (CE) é definida pela Diretiva CE 50 de 2008, sendo os padrões de qualidade do ar para diversos poluentes avaliados por meio de dois tipos de valor (SANTANA et al, 2011):

- a) Valor-limite: concentração máxima permitida de determinado poluente, de observância obrigatória a partir de determinada data. Se excedido este valor, poderá haver problemas à saúde humana e danos ao meio ambiente em geral; o desrespeito ao valor-limite é passível de sanções.
- b) Valor-alvo: concentração de determinado poluente em forma de meta a ser atingida em determinado período. Representa uma fase de transição para as mudanças necessárias para atendimento do valor-limite futuro. O desrespeito ao valor-alvo não é passível de sanções.

Os valores-alvo estabelecidos para o ano de 2010 referente ao material particulado, óxidos de enxofre e de nitrogênio, monóxido de carbono, ozônio, benzeno e chumbo já foram atingidos, conforme Santana et al (2011).

Os valores-limite da qualidade do ar vigentes na CE são apresentados no QUADRO 14, bem como o período de amostragens do ar e as flexibilidades permitidas para os valores-limites.

Os padrões da qualidade do ar vigentes na CE quando comparados com os padrões preconizados pela OMS mostram-se maiores. Os materiais particulados em suspensão, por exemplo, tem concentrações limites mais que o dobro daquelas consideradas saudáveis para amostragens anuais. Entre os óxidos, somente o monóxido de carbono atende aos padrões da OMS; contudo este admite uma margem de tolerância de 60%.

Os valores limite apresentados no QUADRO 14 para estes metais pesados e alguns compostos orgânicos devem representar os valores máximos possíveis, uma vez que cada país membro poderá adotar padrões mais rigorosos em seu território.

QUADRO 14 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR DA COMUNIDADE EUROPEIA (CE) E DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS)

Poluente	Valor limite		Amostragem	Ultrapassagem anual prevista	Margem de tolerância
	CE	OMS		CE	CE
MP 2,5	25 µg/m ³ 20 µg/m ³	10 µg/m ³ 25 µg/m ³	1 ano 24 horas	---	---
MP10	40 µg/m ³ 50 µg/m ³	20 µg/m ³ 50 µg/m ³	1 ano 24 horas	35	50% 20%
SO ₂	50 µg/m ³ 350 µg/m ³	--- 50 µg/m ³	1 hora 24 horas	24 3	150
NO ₂	125 µg/m ³ 200 µg/m ³	20 µg/m ³ 200 µg/m ³	1 hora 1 ano	18	---
CO	40 µg/m ³ 10 µg/m ³	40 µg/m ³ 10 µg/m ³	Média diária – 8 h	---	60%
O ₃	120 µg/m ³	100 µg/m ³	Média diária - 8 h. (Março a Junho por 5 anos para a CE)	(25 dias durante 3 anos para a CE)	---
Benzeno	5 µg/m ³	----	1 ano	---	---
Chumbo	0,5 µg/m ³	----	1 ano	---	---
Arsênio	6 ng/m ³	----	1 ano	---	---
Cádmio	5 ng/m ³	----	1 ano	---	---
Níquel	20 ng/m ³	----	1 ano	---	---
HPA	5 ng/m ³	----	1 ano	---	---

FONTE: Adaptado de SANTANA et al. (2011) e OMS (2005).

2.5.1.2.3 LEGISLAÇÃO DE EMISSÕES

Lei Federal de Controle da Poluição do Ar da Alemanha (*Die Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – Bundes-Immissionsschutzgesetz*), (BImSchG, 1996) pode ser dividida basicamente em controle da poluição do ar relativa às plantas industriais, aos produtos e às áreas urbanas. Além destas divisões existem também alguns tópicos especiais que são tratados na *BImSchG*, como a emissão veicular (BAUMBACH, 1996).

Entre as indústrias passíveis de controle da poluição, por meio de permissões de órgãos ambientais, devido à possibilidade de excederem determinado tamanho e ultrapassarem limites ambientais, podem-se citar indústrias de geração de energia, mineração, cerâmica, de produtos químicos e farmacêuticos, refinarias de óleo mineral, de tratamento de superfícies com

substâncias orgânicas, de madeira e celulose, rações e alimentos, de utilização e disposição de substâncias residuais como incineradores, compostagem e processamento químico, de armazenagem de produtos químicos e combustíveis, entre outras.

Uma empresa galvânica na Alemanha pode enquadrar-se na classificação acima, dependendo do seu tamanho e volume de emissões, conforme a *BImSchG*. A Alemanha desde 1869 solicita, para a maior parte das plantas industriais, permissões oficiais de operação (BAUMBACH, 1996).

A estrutura da *BImSchG* na Diretiva Técnica para Controle da Poluição do Ar (*Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft*) é estruturada como mostra o QUADRO 15.

QUADRO 15 – ESTRUTURA DA DIRETIVA PARA CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR

1. Campo de aplicação.	
2. Regras gerais para a poluição do ar e controle de qualidade do ar.	
- Definições e unidades de medida.	emissões-padrão para três classes de substâncias.
- Princípios gerais para permissão e pré-permissão.	
- Substâncias carcinogênicas.	métodos para cálculo da altura mínima da coluna de emissão a partir da chaminé.
- Liberação de gases da combustão.	
- Valores da Imissão.	Fixação de valores da qualidade do ar para proteção da saúde e proteção contra desvantagens e incômodos consideráveis.
- Determinação das características da qualidade do ar.	Plano de medição para determinar concentrações de fundo e poluição adicional (estabelecimento de método de cálculo para a dispersão de poluentes – modelo Gaussiano).
3. Restrição e medição de emissões:	
- Regras gerais para limitação de emissões.	otimização de processo, otimização de partida e fechamento de processos, considerações sobre difusão do gás da combustão, padrões para materiais particulados e metais pesados, manipulação de produtos que causam emissão de particulados, padrões de vapores e substâncias gasosas: inorgânicas e orgânicas em três classes.
- Medição e monitoramento de emissões.	medição in situ, medidas simples: planejamento de medições, métodos de medições, avaliação, medições de substâncias odoríficas; medições contínuas: programa de medições, medição de material particulado e gases, equipamentos de medição (instrumentos certificados), avaliação e discussão de resultados, calibração e teste de funcionamento.
- Regras especiais para certos tipos de plantas.	padrões de emissão são definidos de acordo com o tamanho da planta.

FONTE: BAUMBACH (1996).

Os tipos especiais de plantas industriais, às quais se exige permissão oficial, são aquelas com grandes fornos devido a sua importância para o ar limpo na Alemanha. São plantas industriais que consomem mais de 50 MW, utilizando óleo combustível ou combustíveis sólidos e plantas que consomem mais de 100 MW pela queima de gás-combustível; assim como as plantas que geram resíduos da combustão (BAUMBACH, 1996).

Os valores estabelecidos pela BImSchG para emissões decorrentes de processos de combustão são encontrados no Anexo I, onde se vêem as concentrações de elementos químicos e seus compostos.

A Alemanha não estabelece padrões ambientais para emissões de processos galvânicos. Contudo, dirige sua atenção nos potenciais poluidores que utilizam processos de combustão em suas atividades (DEUTSCHLAND, 1996).

2.5.2 LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO - SST

2.5.2.1 LEGISLAÇÃO DE SST NO BRASIL

2.5.2.1.1 NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

A Norma Regulamentadora (NR) 15 possui em seu Anexo XI, que trata de agentes químicos nos locais de trabalho, as concentrações de diversos contaminantes denominados de limites de tolerância e valores teto (BRASIL, 1978).

O anexo XI da NR 15 também apresenta a forma de cálculo do valor teto (VT) a partir dos limites de tolerância, que é aplicável somente para os onze componentes químicos que devem possuir o valor teto.

O valor teto representa o limite máximo de concentração do contaminante, não podendo ser ultrapassado de forma alguma durante a jornada de trabalho, sob pena de prejudicar definitivamente a saúde dos trabalhadores (BRASIL, 1978).

O limite de tolerância, cuja magnitude é inferior ao valor teto, permite a exposição dos trabalhadores ao contaminante por período equivalente a 48 horas semanais de trabalho, sem que haja comprometimento da saúde do trabalhador.

Portanto, névoas e vapores químicos que podem ser encontrados em locais de trabalho devem ter concentrações menores que os limites de tolerância e valores teto previstos na NR 15.

O QUADRO 16 mostra alguns dos compostos químicos encontrados em galvânicas constantes no Anexo XI da NR 15.

QUADRO 16 – LIMITES DE TOLERÂNCIA DE COMPONENTES QUÍMICOS USUAIS EM GALVANICAS

Composto Químico	Concentração (ppm)	Concentração (mg/m³)	Insalubridade	Valor Teto
Ácido Acético	8	20	Média	Não
Ácido Cianídrico	8	9	Máxima	Não
Ácido Clorídrico	4	5,5	Máxima	Sim
Ácido Crômico	---	0,04	Máxima	Não
Ácido Fluorídrico	2,5	1,5	Máxima	Não
Ácido Fórmico	4	7	Média	Não
Amônia	20	14	Média	Não
Brometo de Metila	12	47	Máxima	Não
Bromo	0,08	0,6	Máximo	Não
Cianeto de Metila	30	55	Máxima	Não
Cianeto de Vinila	30	55	Máxima	Sim
Cloreto de Carbonila	0,08	0,3	Máxima	Não
Cloreto de Etila	780	2030	Média	Não
Cloreto de Metila	78	165	Máxima	Não
Cloreto de Metileno	156	560	Máxima	Não
Cloreto de Vinila	156	398	Máxima	Não
Cloro	0,8	31	Máximo	Não
Cloro Benzeno	59	275	Média	Não
Dióxido de Carbono	3900	7020	Mínima	Não
Dióxido de Cloro	0,08	0,25	Máxima	Não
Dióxido de Enxofre	4	10	Máxima	Não
Dióxido de Nitrogênio	4	7	Máxima	Sim
Fosfamina	0,23	0,3	Máxima	Não
Gás Sulfídrico	8	12	Máxima	Não
Monóxido de carbono	39	43	Máxima	Não
Níquel Carbonila	0,04	0,28	Máxima	Não
Óxido Nitroso	20	23	Máximo	Não
Percloroetileno	78	525	Médio	Não
Tetracloroeto de Carbono	8	50	Máximo	Não

FONTE: Adaptado de BRASIL (1978).

Os onze compostos químicos que possuem valor teto são: ácido clorídrico, álcool n-butílico, n-butalamina, cloreto de vinila, diclorofluormetano (freon 12), 1,1

dicloro-1-nitroetano, 2,4 diisocianato de tolueno (TDI), dióxido de nitrogênio, formaldeído (formol), monometil hidrazina e sulfato dedimetila (BRASIL, 1978).

A concentração de determinado composto químico no local de trabalho é calculada pela média aritmética diária constatada. Para isso, devem-se realizar no mínimo dez amostragens instantâneas, para cada ponto de trabalho ao nível respiratório do trabalhador, em intervalos de no mínimo vinte minutos, como preconiza a norma (BRASIL, 1978). Posteriormente, compara-se a concentração do “chão de fábrica” de determinado componente químico com seu limite de tolerância. Se as concentrações diárias forem superiores ao limite de tolerância, a empresa deverá controlar a emissão de contaminantes no local de trabalho.

O valor teto é calculado pela EQUAÇÃO 1, multiplicando-se o limite de tolerância do composto químico pelo fator de desvio.

$$VT = LT \times FD \quad (\text{EQUAÇÃO 1})$$

Os limites de tolerância e os fatores de desvio são obtidos no QUADRO 17.

QUADRO 17 - LIMITES DE TOLERÂNCIA E FATORES DE DESVIO

Limite de tolerância (LT) em ppm ou mg/m ³	Fator de Desvio (FD)
Zero a 1	3
1 a 10	2
10 a 100	1,5
100 a 1000	1,25
Acima de 1000	1,10

FONTE: BRASIL (1978).

2.5.2.1.2 NR 9 – PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS E NR 7 – PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS

O desenvolvimento do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) fundamenta-se nos critérios apresentados no item 9.3 da NR 09 (BRASIL, 1994):

- antecipação e reconhecimento de riscos.
- estabelecimento de prioridades, metas de avaliação e controle.
- avaliação dos riscos e da exposição dos trabalhadores.

- d) implantação de medidas de controle e avaliação de sua eficácia.
- e) monitoramento da exposição aos riscos.
- f) registro e divulgação dos dados.

O Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) constante na NR7 (BRASIL, 1994) é estabelecido a partir da identificação e mensuração dos riscos ambientais existentes no PPRA, para desenvolver ações médicas de caráter individual e epidemiológico, visando à preservação da saúde dos trabalhadores. O foco é realizar medicina preventiva e ocupacional: manter a saúde ao invés de remediá-la (SALIBA, 2004).

O médico responsável pelo PCMSO, além de realizar exames médicos, determinar exames complementares e resguardar as informações do prontuário clínico de cada trabalhador, também deve emitir o relatório anual acerca das ações médicas realizadas no ano anterior, apontando o quantitativo de casos clínicos considerados normais e anormais. Todas estas ações estão enfeixadas em um cronograma anual de ações previstas. (SALIBA, 2004).

O PCMSO depende do PPRA e vice-versa, pois constituem um sistema de gestão em segurança e saúde laboral.

O PPRA voltado para atividades galvânicas possui um forte viés químico, razão da potencial insalubridade das soluções e substâncias químicas que se encontram nos locais de trabalho. A identificação dos riscos químicos deve iniciar-se com as Fichas de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) de todos os produtos manipulados no estabelecimento (MAGARIFUCHI et al, 2007).

A higiene do trabalho medirá periodicamente as concentrações dos produtos químicos nos locais de trabalho em condições mais desfavoráveis, como em momentos de picos de produção ou dias frios. Os riscos físicos são igualmente relevantes em um PPRA de galvânicas, a exemplo do ruído; os riscos biológicos são pouco significativos. Possibilidades de sobrecarga física, de acidentes com queda de nível ou escorregões devem ser evitadas com ações corretivas previstas no cronograma de ação (SALIBA, 2004).

Os exames médicos previstos para os trabalhadores de galvânicas concentram-se em exame clínico que diagnostica problemas na pele, sistemas respiratório, cardiovascular, urinário e neurológico, uma avaliação otorrinolaringológica minuciosa, exame de urina para verificar traços de (cromo,

níquel, ácido tricloroacético), raio X de tórax e espirometria. Em geral a frequência dos exames é anual, exceto para o exame de urina que deve ser semestral (MAGARIFUCHI et al, 2007).

2.5.2.1.3 NORMA REGULAMENTADORA 25 – RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A NR 25 foi implantada na legislação trabalhista brasileira pela Portaria Ministerial 3.214 de 08/06/1978, tendo sido revisada pelas Portarias 227 de 24/05/2011 e 253 de 04/08/2011, ambas emitidas pela Secretaria de Inspeção do Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) (BRASIL, 2011; BRASIL, 1978).

A primeira versão da NR 25, de 1978, aborda de forma direta as questões relativas aos resíduos industriais gasosos, líquidos e sólidos, passíveis de fiscalização pela auditoria o trabalho. O texto completo pode ser observado a seguir (BRASIL, 1978):

25.1 Resíduos gasosos

25.1.1 Os resíduos gasosos deverão ser eliminados dos locais de trabalho através de métodos, equipamentos ou medidas adequadas, sendo proibido o lançamento ou a liberação nos ambientes de trabalho de quaisquer contaminantes gasosos sob a forma de matéria ou energia, direta ou indiretamente, de forma a serem ultrapassados os limites de tolerância estabelecidos pela Norma Regulamentadora (NR 15). (C= 125.001-9/ I= 4)

25.1.2 As medidas, métodos, equipamentos ou dispositivos de controle do lançamento ou liberação dos contaminantes gasosos deverão ser submetidos ao exame e à aprovação dos órgãos competentes do Ministério do Trabalho, que a seu critério exclusivo tomará e analisará amostras do ar dos locais de trabalho para fins de atendimento a estas normas. (C= 125.002-7/ I= 3)

25.1.3 Os métodos e procedimentos de análise dos contaminantes gasosos estão fixados na Norma Regulamentadora (NR 15).

25.1.4 Na eventualidade de utilização de métodos de controle que retirem os contaminantes gasosos dos ambientes de trabalho e os lancem na atmosfera externa, ficam as emissões resultantes sujeitas às legislações competentes nos níveis federal, estadual e municipal.

25.2 Resíduos líquidos e sólidos

25.2.1 Os resíduos líquidos e sólidos produzidos por processos e operações industriais deverão ser convenientemente tratados e/ou dispostos e/ou

retirados dos limites da indústria, de forma a evitar riscos à saúde e à segurança dos trabalhadores. (C=124.003-5/I= 4)

25.2.2 O lançamento ou disposição dos resíduos sólidos e líquidos de que trata esta norma nos recursos naturais – água e solo – se sujeitarão às legislações pertinentes nos níveis federal, estadual e municipal.

25.2.3 Os resíduos sólidos e líquidos de alta toxicidade, periculosidade, os de alto risco biológico e os resíduos radioativos deverão ser dispostos com o conhecimento e a aquiescência e auxílio de entidades especializadas/públicas ou vinculadas e no campo de sua competência.

A auditoria fiscal do trabalho possuía, com a NR 25 de 1978, competência de autuação e aplicação de outras sanções (interdições e embargos) para infrações verificadas quanto aos itens 25.1.1, 25.1.2 e 25.2.1 (BRASIL, 1978).

Observa-se que ao final da redação dos itens citados encontravam-se o código de ementa da infração (C) e sua gradação de severidade (I), o qual varia de leve a moderada, grave ou muito grave, conforme a escala de 1 a 4, definida no anexo I da NR 28 – Fiscalização e Penalidades (BRASIL, 1978).

A imposição do valor da multa depende da gravidade da infração e ainda do tamanho da empresa, avaliada pelo número de seus empregados. O QUADRO 18 mostra as faixas de valores das multas constantes na NR 28 para infrações I3 e I4, aplicáveis a irregularidades consideradas graves e muito graves tanto na NR 25 de 1978 como na NR 25 de 2011 (BRASIL, 2011; BRASIL, 1978).

QUADRO 18 - ANEXO 1 DA NR 28 – GRADAÇÃO DE MULTAS (em UFIR⁹)

Número de empregados	Segurança do trabalho		Medicina do trabalho	
	I 3	I 4	I 3	I 4
1- 10	1691 a 2091	2252 a 2792	1015 a 1254	1350 a 1680
11 – 25	2092 a 2495	2793 a 3334	1255 a 1500	1681 a 1998
26 – 50	2496 a 2898	3335 a 3876	1501 a 1746	1999 a 2320
51 – 100	2899 a 3302	3877 a 4418	1747 a 1986	2321 a 2648
101 – 250	3303 a 3718	4419 a 4948	1987 a 2225	2649 a 2976
251 – 500	3719 a 4121	4949 a 5490	2226 a 2471	2977 a 3297
501 – 1000	4122 a 4525	5491 a 6033	2472 a 2717	3298 a 3618
+ de 1000	4526 a 4929	6034 a 6304	2718 a 2957	3619 a 3782

FONTE: Adaptado de BRASIL (1978).

⁹ UFIR : Unidade Fiscal de Referência equivale a R\$1,0641 valor congelado no ano 2000 por força da Medida Provisória 2095-76.

Empresas que possuem entre 101 a 250 empregados, por exemplo, alcançam autuações cujos valores mínimos são de R\$ 3.514,72 para irregularidade grave (I3) e de R\$ 4.702,25 para irregularidade muito grave (I4), de acordo com a QUADRO 18. Deve-se considerar ainda a tipo da irregularidade, de segurança (S) ou de medicina do trabalho (M); para esta última, os valores são reduzidos em torno de 40%. O valor da multa poderá sofrer outras reduções se a empresa for primária e se reincidente os valores poderão ser duplicados. Não obstante, os valores estimados das multas são relativamente baixos para o aporte de uma empresa com 100 a 250 trabalhadores.

A atual redação da NR 25 de 2011, apresenta-se de forma completa de acordo com o seguinte texto (BRASIL, 2011):

25.1 Entende-se como resíduos industriais aqueles provenientes dos processos industriais, na forma sólida, líquida ou gasosa ou combinação dessas, e que por suas características físicas, químicas ou microbiológicas não se assemelham aos resíduos domésticos, como cinzas, lodos, óleos, materiais alcalinos ou ácidos, escórias, poeiras, borras, substâncias lixiviadas e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como demais efluentes líquidos e emissões gasosas contaminantes atmosféricos.

25.2 A empresa deve buscar a redução da geração de resíduos por meio da adoção das melhores práticas tecnológicas e organizacionais disponíveis. (C=125.004-3/I=4/T=S)

25.3 Os resíduos industriais devem ter destino adequado sendo proibido o lançamento ou a liberação no ambiente de trabalho de quaisquer contaminantes que possam comprometer a segurança e a saúde dos trabalhadores. (C=125.012-4/I=4/T=S)

25.3.1 As medidas, métodos, equipamentos ou dispositivos de controle do lançamento ou liberação dos contaminantes gasosos, líquidos e sólidos devem ser submetidos ao exame e à aprovação dos órgãos competentes. (C=125.006-0/I=4/T=S)

25.3.2 Os resíduos líquidos e sólidos produzidos por processos e operações industriais devem ser adequadamente coletados, acondicionados, armazenados, transportados e encaminhados à adequada disposição final pela empresa. (C=125.007-8/I=4/T=S)

25.3.2.1 Em cada uma das etapas citadas no subitem 25.3.2 a empresa deve desenvolver ações de controle, de forma a evitar risco à segurança e saúde dos trabalhadores. (C=125.008-6/I=4/T=S)

25.3.3 Os resíduos sólidos e líquidos de alta toxicidade e periculosidade devem ser dispostos com o conhecimento, aquiescência e auxílio de entidades especializadas/públicas e no campo de sua competência. (C=125.013-2/I=4/T=S)

25.3.3.1 Os rejeitos radioativos devem ser dispostos conforme legislação específica da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. (C=125.014-0/I=3/T=S)

25.3.3.2 Os resíduos de risco biológico devem ser dispostos conforme previsto nas legislações sanitária e ambiental. (C= 125.015-9/I=3/T=S)

25.4 Revogada pela Portaria nº 253 de 4/8/2011. DOU de 8/8/2011.

25.5 Os trabalhadores envolvidos em atividades de coleta, manipulação, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e disposição de resíduos devem ser capacitados pela empresa, de forma continuada, sobre os riscos envolvidos e as medidas de controle e eliminação adequadas. (C=125.016-7/I=3/T=S)

2.5.2.2 LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL NA ALEMANHA

Sob o ponto de vista estritamente laboral a norma alemã TRGS 900 (2006) Regulamento técnico sobre materiais perigosos – Valores limites nos locais de trabalho (*Technische Regein für Gefahrstoffe – Arbeitsplatzgrenzwerte*) estabelece os parâmetros atmosféricos nos locais de trabalho. Para os poluentes encontrados em galvanicas a TRGS 900 apresenta os limites máximos conforme o QUADRO 19 (DEUTSCHLAND, 2006).

O QUADRO 19 mostra, à primeira vista, que para os ambientes de trabalho nas empresas galvanicas alemãs há limites de concentração para a maioria das substâncias químicas, expressas em mg/m³. Porém, alguns metais pesados como bromo, níquel, estanho e zinco não possuem concentrações-limites em ppm, o que ocorre também para o ácido sulfúrico e o ácido crômico.

2.6 MEDIDAS PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO

O caminho para o saneamento dos processos industriais passa por diversas etapas de desenvolvimento. Por isso, a evolução ambiental sinaliza o

deslocamento das tecnologias de fim de tubo no sentido da produção mais limpa, da produção limpa e para tecnologias limpas.

QUADRO 19 – LIMITES MÁXIMOS DE EMISSÕES NO LOCAL DE TRABALHO NA ALEMANHA – TRGS 900

Substância	Concentração (mg/m³)	Concentração (PPM)
Ácido clorídrico	4,00	1,00
Ácido sulfúrico	0,10	---
Ácido nítrico	2,60	1,00
Ácido crômico	2,00	---
Ácido acético	25,00	10,00
Ácido fluorídrico	0,83	1,00
Ácido fórmico	9,50	5,00
Amônia	14,00	20,00
Bromo	0,70	---
Cloro	1,50	0,50
Cloro Benzeno	47,00	10,00
Dióxido de cloro	0,28	0,10
Dióxido de enxofre	2,50	1,00
Substância	Concentração (mg/m³)	Concentração (ppm)
Dióxido de carbono	9.100,00	5.000,00
Monóxido de carbono	35,00	30,00
Óxido nítrico	180,00	100,00
Níquel e compostos	0,006	---
Estanho (II) compostos	8,00	---
Estanho (IV) compostos	2,00	---
Zinco e compostos	5,00	---

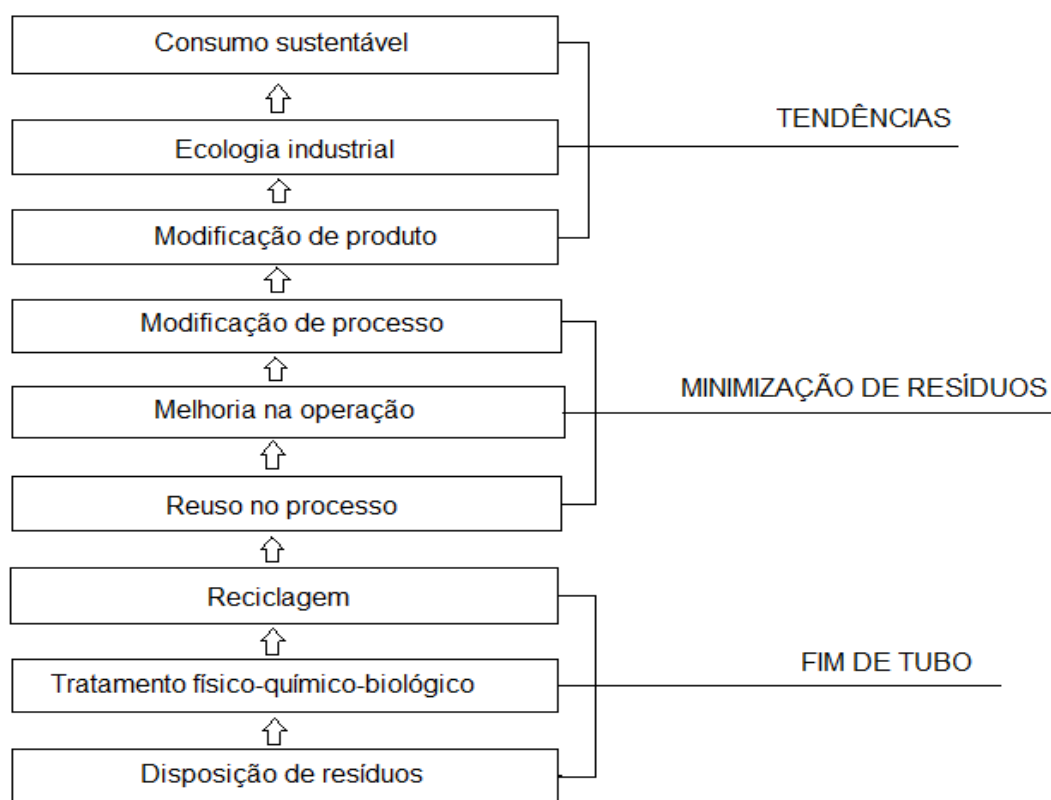
FONTE: Adaptado de DEUTSCHLAND (2006).

A disposição adequada dos resíduos industriais, seu tratamento e a adoção da reciclagem de materiais constituem a chamada tecnologia de fim de tubo. Em geral, estas ações são o princípio básico do controle ambiental dos resíduos industriais (KIPERSTOK et al., 2002; PAWLOWSKY, 1983). Isto pode ser visto na FIGURA 12, que mostra a evolução das ações voltadas à melhoria do controle ambiental dos processos industriais.

A legislação determina minimamente a necessidade da disposição adequada dos resíduos e seu tratamento físico-químico-biológico. A reciclagem representa o início de uma nova mentalidade ambiental, posta em prática por bom número de indústrias (BOTKIN; KELLER, 2011)

A redução da geração de resíduos industriais é possível pela utilização de programas de análise da produção sob a ótica ambiental conhecidos como produção mais limpa, produção limpa e tecnologia limpa. Não é suficiente depurar os resíduos por meio de filtros, estações de tratamento e aterros industriais; é urgente reduzir a geração dos resíduos nas indústrias, é necessário racionalizar o consumo, o reuso e reciclagem ao máximo (KIPERSTOK et al., 2002).

FIGURA 12- EVOLUÇÃO DAS AÇÕES PARA O CONTROLE DE RESÍDUOS



FONTE: Adaptado de KIPERSTOK et al. (2002).

Sob o ponto de vista da organização da produção, minimizar a poluição significa busca economia de insumos, de energia e de mão de obra, que resultem na redução da geração dos resíduos, bem como recuperar e reusar insumos a partir dos resíduos e rejeitos do processo. Pode-se também modificar a operação

existente ou substituir o processo produtivo por outro que torne o resultado ambiental mais eficiente, isto é com pouca necessidade de insumos e baixa geração de resíduos (KIPERSTOK et al., 2002; PACHECO, 2005).

As propostas de minimização de resíduos representam uma grande mudança na forma tradicional de pensar. Um programa desta natureza deve avaliar todas as propostas consideradas, seus benefícios ambientais e econômicos, e a equipe gestora deve estar ciente das dificuldades e barreiras econômicas, técnicas, regulamentares e culturais existentes (CRITTENDEN; KOLACZKOWSKI, 1995).

A tendência futura é representada pela não geração de resíduos industriais. Assim, projetos de produtos que economizem materiais constitutivos e suas embalagens, que utilizem ergonomia, com economia de energia e durabilidade do produto constituem o conceito de *ecodesign*. A ênfase do *ecodesign* é dada na utilização de recursos naturais renováveis, de materiais reciclados, o reuso de sucatas e de materiais excedentes, o consumo de tintas à base de água no lugar daquelas a base de solventes, assim como a redução e substituição de insumos tóxicos (VAN BERCKEL, 2007).

A prevenção da geração de resíduos torna-se mais consistente com a implantação do conceito de ecologia industrial, o qual se refere às redes de trocas de resíduos, de logística reversa e de compartilhamento de materiais e de energia entre diferentes plantas industriais, aproveitando sinergias e formando eco-redes para viabilizar o ecossistema industrial (MANZINI; VEZZOLI, 2011).

Segundo Araújo et al. (2016) a ecologia industrial induz o projeto e a operação das indústrias a se modelarem como as atividades dos sistemas biológicos, com mimetismo, otimizando o ciclo de materiais e energia, de forma a aproximar-se de um ciclo fechado, utilizando fontes de energia renováveis e conservando materiais não renováveis.

O alcance gradual das etapas de desenvolvimento das ações ambientais leva a sociedade ao estágio do consumo sustentável, que é resultante de nova mentalidade decorrente da educação e políticas ambientais (PHILIPPI JR; ROMERO; BRUNA, 2005; MANZINI; VEZZOLI, 2011).

O consumo sustentável implica em que os cidadãos escolhem seus produtos com base em critérios como menor demanda da fabricação por recursos naturais, facilidade de reaproveitamento e reciclagem após o consumo, garantia de emprego decente aos que produzem os produtos, extensão do período de vida útil

do produto, entre outros. Neste estágio de desenvolvimento ambiental todos são responsáveis, produtores e consumidores, que devem ter escolhas conscientes, ponderando as consequências positivas e negativas de suas decisões sobre a sociedade e sobre o meio ambiente (MANZINI; VEZZOLI, 2011).

Alguns programas que tiveram início no século XX, na década de 70, estão voltados à produção industrial, incluem os programas de prevenção da poluição (PP) e produção mais limpa (P+L) e visam prevenir a geração de resíduos

O programa de prevenção à poluição ou redução na fonte é qualquer prática, processo, técnica ou tecnologia que visem a redução ou eliminação em volume, concentração e/ou toxicidade dos resíduos na fonte geradora. Inclui modificações em equipamentos, processos, procedimentos, reformulações ou replanejamento de produtos, substituição de matéria prima e melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da entidade/empresa, resultando no aumento da eficiência, no uso da matéria-prima, energia, água e outros recursos (PACHECO, 2005).

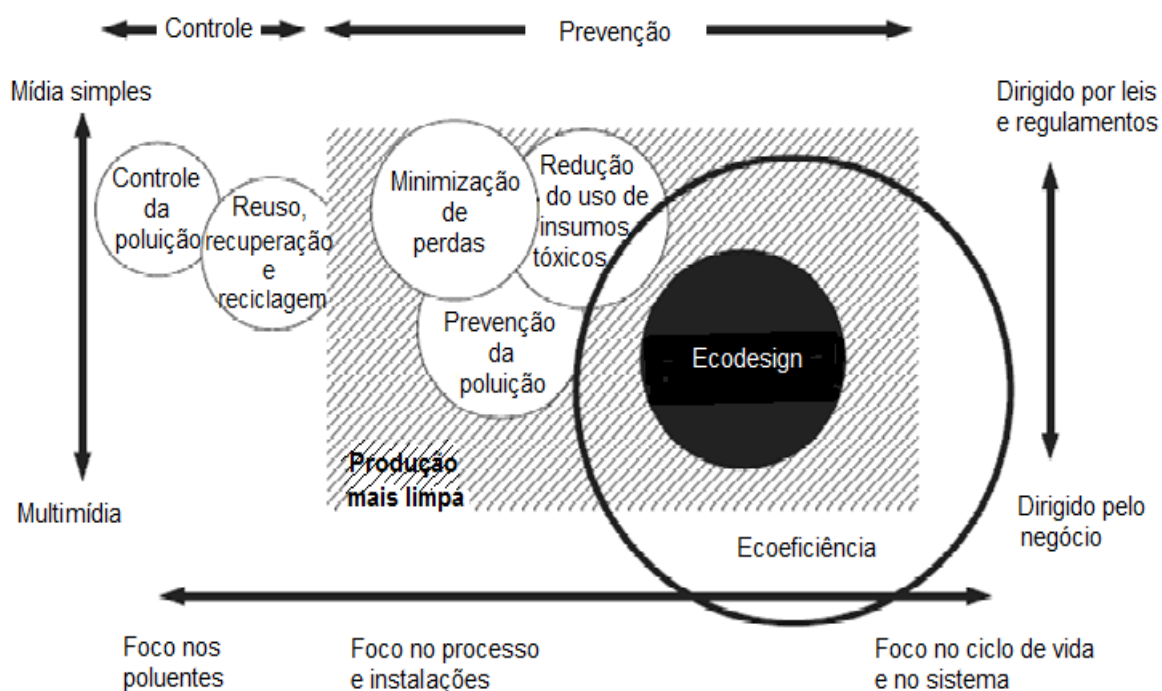
A metodologia adotada no programa de produção mais limpa significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, pela não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos (UNIDO, 2016).

Outro programa que existe é a produção limpa, no qual se questiona a real necessidade de um produto e observa como esta necessidade poderia ser melhor satisfeita ou reduzida, promove a redução ou economia do uso de materiais, água e energia e admite a necessidade da participação pública na tomada de decisão política e econômica (GRENPEACE, 2016).

O conceito de consumo sustentável corresponde ao uso de serviços e produtos que correspondam às necessidades básicas de toda a população e promovam a melhoria da qualidade de vida, ao mesmo tempo reduzindo o uso dos recursos naturais e de materiais tóxicos, a produção de lixo e as emissões de poluição em todo o ciclo de vida, sem comprometer as necessidades das gerações futuras (Comissão de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas – CDS/ONU apud CETESB, 2016).

De acordo com Van Berckel (2007) existem diversas ações para prevenir a poluição que podem ser visualizadas na FIGURA 13. À esquerda, vê-se o controle da poluição, o reuso, recuperação e reciclagem que constituem as técnicas de fim de tubo, pois trabalham para recuperar o possível dano ambiental. A área hachurada mostra mudanças nos focos, que ampliam sua visão, agora sobre processo/instalações até o ciclo de vida dos produtos e no sistema produtivo. Minimizar perdas e reduzir insumos tóxicos ainda são determinados pelas leis e regulamentos, enquanto a prevenção da poluição é mais motivada pelos negócios da empresa. As intercessões na FIGURA 13 demonstram a evolução das ações e sua complementaridade.

FIGURA 13 - AÇÕES E PROGRAMAS PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO



FONTE: Traduzido de VAN BERCKEL (2007).

A ecoeficiência é uma condição ambiental muito evoluída da empresa, que reduz desperdícios, emissões de carbono e impactos dos transportes, eliminam resíduos, reciclam e reutilizam recursos e redesenham processos. A ecoeficiência adota tecnologias limpas, elevados padrões de qualidade e busca a segurança e saúde de seus trabalhadores e do público consumidor (KIPERSTOK et al., 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 COMPARAÇÃO ENTRE AS LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA DO TRABALHO NO BRASIL E NA ALEMANHA

Para realizar a comparação entre as leis ambientais e de segurança do trabalho adotadas no Brasil e na Alemanha foram analisadas as legislações mostradas no QUADRO 20.

QUADRO 20 – LEGISLAÇÕES APLICADAS À GALVANOPLASTIA UTILIZADAS PARA COMPARAÇÃO ENTRE BRASIL E ALEMANHA

País	Brasil	Alemanha
Leis ambientais para os efluentes		
Federal	Resolução CONAMA: 430/2011	<i>Abwasserverordnung (AbwV, 1997)</i>
Leis ambientais para as emissões		
Federal	Resoluções CONAMA: 03/1990, 382/2006	<i>Bundes Immissionsschutzgesetz (BImSchG, 1996)</i>
Estadual	Resolução SEMA: 16/2014	
Leis de segurança do trabalho		
Federal	Normas Regulamentadoras: NR15, NR25, NR 7, NR 9 (1978, 2011, 1994)	<i>Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900, 2006)</i>

A análise comparativa foi realizada com base nos seguintes requisitos:

- Substâncias químicas utilizadas em galvanoplastia.
- Impactos destas substâncias sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana.
- Limites máximos dos poluentes galvânicos nos efluentes no Brasil e na Alemanha.
- Limites máximos das emissões no local de trabalho e padrões de qualidade do ar no Brasil e na Alemanha.
- Restrições e exigências legais.

3.2 AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA E CONTROLE AMBIENTAL ADOTADAS EM INDÚSTRIAS GALVÂNICAS DE PORTE MÉDIO NO BRASIL E NA ALEMANHA

Para possibilitar a comparação entre os processos produtivos foram realizadas visitas técnicas em empresas de galvanoplastia, uma na Alemanha e três no Brasil. A escolha das empresas visitadas obedeceu a um critério aleatório a partir da indicação dos órgãos representativos. A empresa alemã foi indicada pelo Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Gestão de Resíduos da Universidade de Stuttgart (*Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft - ISWA*) e as empresas brasileiras indicadas pela Associação Paranaense de Empresas de Tratamento de Superfície (APETS).

Cerca de 10 visitas foram realizadas na empresa alemã no período de 2015 a abril de 2016, enquanto no Brasil foram realizadas 03 visitas em cada empresa, totalizando 09, durante o período de agosto e setembro de 2016.

As empresas indicadas eram semelhantes em termos de porte industrial, tipos de serviços prestados, espectro de produtos elaborados, formas gerenciais e constituição patrimonial.

As visitas técnicas permitiram avaliar os processos galvânicos, bem como os equipamentos adotados. Nas visitas o principal foco foi averiguar o processo quanto ao tratamento de efluentes líquidos, emissões gasosas e disposição de lodo.

A padronização das informações obtidas nas visitas foi realizada por meio de um questionário (QUADRO 21) e o mesmo foi preenchido no momento da visita com auxílio de profissional da empresa de nível gerencial e de supervisão técnica.

O questionário foi elaborado previamente buscando o conhecimento de aspectos amplos da empresa como a gestão do processo, para em seguida identificar a tecnologia utilizada e finalmente conhecer como era realizado o controle dos resíduos industriais. As perguntas iniciais, de cunho mais amplo (gestão), derivam para aspectos mais específicos do processo (tecnologia, segurança do trabalho e controle ambiental), de modo a ter-se uma continuidade lógica e harmônica entre os temas avaliados.

QUADRO 21- QUESTIONÁRIO E SEUS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DAS EMPRESAS

QUESTÕES	CRITÉRIOS
1- Tempo que a empresa opera processos galvânicos?	Gestão
2- Opera pré-tratamento (mecânico/químico) e tratamento eletroquímico?	Tecnologia
3- Ramos das empresas que são clientes?	Gestão
4- Nº de trabalhadores e de turnos de trabalho?	Gestão
5- Perfil dos trabalhadores (idade, qualificação) ?	Gestão
6- Existência de treinamentos e equipamentos de segurança?	Segurança
7- Rotatividade dos trabalhadores na empresa?	Gestão
8- Processo produtivo: automatizado, semi-automatizado ou de manufatura?	Tecnologia
9- Existência de sistema internacional de gestão ambiental? (ISO 14.001, outras).	Gestão
10- Existência de sistema corporativo de gestão ambiental?	Gestão
11- Existência de indicadores ambientais na gestão da empresa?	Gestão
12- Existência de banco de dados ambientais?	Gestão
13- Exigências ambientais para o trabalho galvânico?	Controle
14- Legislação ambiental é espontaneamente ou forçosamente observada?	Gestão
15- Periodicidade das inspeções e auditorias externas?	Controle/gestão
16- Medidas previstas para o caso de acidentes ambientais?	Segurança
17- Há profissional contratado ou assessoria externa para gestão ambiental?	Gestão
18- Estimativa de custos para o tratamento dos resíduos industriais?	Gestão
19- Ações para redução de energia, matérias primas e geração de resíduos; e substituição de produtos perigosos?	Controle e Segurança
20- Reciclagem de água de lavagem no processo?	Controle/gestão
21- Manutenção periódica do sistema de exaustão e do lavador de gases?	Controle e Segurança
22- Medição da concentração de poluentes no ambiente de trabalho e na atmosfera?	Controle e Segurança
23- Tipos de tratamento do efluente líquido?	Controle
24- Destino do lodo galvânico; há recuperação dos metais pesados?	Controle e Tecnologia
25- Participação em associações de classe ou institutos de pesquisas técnicas ou científicas?	Gestão

As respostas das empresas ao questionário foram tabuladas de forma a facilitar a comparação dos diversos quesitos, destacando inconformidades operacionais e boas práticas encontradas.

3.3 AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DAS NORMAS DE SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO NAS EMPRESAS VISITADAS

Com base nas NR 25, NR 15 (BRASIL, 2011; BRASIL, 1978) e normas correlatas NR 06 e NR 17 (BRASIL, 2001; BRASIL, 1990) foram observadas as conformidades/inconformidades nas empresas galvânicas visitadas, distribuídas de acordo com os seguintes quesitos:

- a) Presença de gases e vapores no local de trabalho, constatação *in loco*.
- b) Sistemas de exaustão inexistentes.
- c) Depósitos de produtos químicos inadequados e com riscos químicos latentes.
- d) Ordem e limpeza do ambiente de trabalho precárias.
- e) Arranjo físico inadequado ao processo e à segurança do trabalho.
- f) Iluminação deficiente.
- g) Ruídos excessivos.
- h) Equipamentos e maquinário obsoletos e/ou em mau estado de conservação.
- i) EPIs inadequados e/ou em mau estado de conservação.
- j) Esforços estáticos e dinâmicos na realização do trabalho; posturas repetitivas.
- k) Falta de controle de efluentes e emissões.

3.4 AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO ADOTADAS PELAS EMPRESAS VISITADAS

Com base nas técnicas de produção mais limpa foram observados nos locais de trabalho os seguintes critérios adotados em programa de prevenção da poluição, aplicados em galvânicas:

- a) Substituição de insumos perigosos.
- b) Processos automáticos ou semi-automáticos nos banhos.
- c) Banhos de lavagem em cascata.
- d) Fluxo de água em contracorrente nos banhos de lavagem.
- e) Sistemas de retenção e drenagem de respingos e vazamentos nos banhos.

- f) Separação dos efluentes por tipo de água de lavagem.
- g) Reuso de água de lavagem no processo galvânico.
- h) Recuperação e reciclagem de metais pesados.
- i) Redução do cromo VI em cromo III e controle químico.
- j) Neutralização do cianeto e controle químico.
- k) Organização e limpeza.
- l) Programa de manutenção de máquinas e equipamentos.
- m) Disposição adequada do lodo galvânico.

4 OBJETO DE PESQUISA

4.1 EMPRESAS VISITADAS

4.1.1 “EMPRESA A” NA ALEMANHA

A empresa alemã “A”, localizada na cidade de Stuttgart, capital do Estado de Baden Württemberg no sudoeste da Alemanha, foi fundada em 1928. Posteriormente, em 1988, foi vendida a uma família que hoje gerencia as atividades.

A atual planta industrial, instalada em 1993, dispõe de um total de 1.800 m² de área coberta com pé direito de 8 m, mais 1.500 m² de área para tráfego de cargas a céu aberto.

A empresa A opera em processo contínuo e possui em seu quadro 25 trabalhadores que executam serviços de eletrodeposição em produtos de outras indústrias como automobilística, de cutelaria, de materiais de construção e para casas da moeda dos governos da Alemanha e França.

Por muitos anos, a empresa “A”, tem sido acreditada como um estabelecimento especializado em tecnologia de eletrodeposição. A companhia possui certificações DIN EN ISO 9001 e DIN EN ISO 14001 e desde 2007 participa de projetos internacionais para transferência de tecnologia em países como Irã, Azerbaijão e China, onde várias plantas galvânicas foram implantadas e o seu pessoal técnico treinado.

4.1.2 “EMPRESA B” NO BRASIL

Empresa galvânica, de origem familiar, localizada em região residencial de Curitiba, capital do Paraná, possui mais de 60 anos de existência. Realiza processos de cromagem, zincagem, niquelação e cobreamento em batelada.

Atualmente conta com 11 empregados e área aproximada de 800 m². Já foi líder no mercado estadual, nos anos de 1980, quando realizava tratamento de superfície de 1.000 parachoques por ano e 10.000 ponteiros de escape de automóveis ao mês para uma montadora de São Paulo. A introdução de

componentes automotivos plásticos retirou-lhe a demanda da empresa paulista e assim a empresa “B” viu-se muito limitada em seus volumes de produção. Hoje, atende às demandas individuais de clientes que buscam na cromagem estética a restauração de móveis, utensílios, peças automotivas antigas, entre outras.

A empresa não possui certificações ambientais como ISO 14.001, tampouco sistema de gestão corporativo. A “empresa C” realiza o Programa de Riscos Ambientais e o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Suas instalações possuem estação de tratamento físico-químico de efluentes.

4.1.3 “EMPRESA C” NO BRASIL

Empresa familiar voltada a operações de galvanização, cromagem e pintura anodizada, situada em bairro residencial de Curitiba / Paraná, conta com 20 anos de existência. De porte médio e com 24 empregados, possui atualmente capacidade ociosa de 80%.

Os serviços de galvanoplastia prestados para outras indústrias vão desde zincagem para componentes de direção hidráulica para veículos de uma montadora localizada na mesma região, cromagem de placas para máquinas de alimentos e hastes de pás carregadeiras, e pintura com anodização para peças de diferentes clientes. O prédio industrial relativamente novo tem área aproximada de 3.000 m²; são três barracões contíguos de modo a abrigar distintos processos e serviços, providos de uma ETE. Esta empresa conta com linhas de produção contínua e por batelada.

A empresa dispõe do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais e do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional; mas não há certificação ISO 14.001.

4.1.4 “EMPRESA D” NO BRASIL

Localizada na região metropolitana de Curitiba / Paraná, esta empresa de origem familiar, iniciou suas atividades há mais de 25 anos como prestador de serviços de galvanoplastia para outras indústrias. Contudo, derivou para o desenvolvimento e produção de acessórios para caminhões e ônibus.

Os prédios contam com cerca de 10.000 m², comportando áreas administrativas, de produção, laboratórios de química e de qualidade, estações de tratamento de efluentes e usina de recuperação de efluentes. Atualmente conta com um quadro de 122 empregados e capacidade ociosa de 32%.

A linha de produtos compõe-se de calotas, escadas, reservatórios de água potável, silenciadores, ponteiras de escapamentos, fixações, calibradores pneus, climatizadores de ar, todos voltados para caminhões e ônibus. Os processos galvânicos são predominantemente contínuos.

A empresa adota práticas voltadas à sustentabilidade, porém não é certificada com a ISO 14.001.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPARAÇÃO ENTRE AS LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS NO BRASIL E NA ALEMANHA

5.1.1 NATUREZA DAS LEIS AMBIENTAIS DA ALEMANHA E DO BRASIL

A Alemanha debateu por quase 40 anos (1970 – 2009) e buscou constituir um código ambiental, com o objetivo de integrar e harmonizar toda a legislação de meio ambiente, seguindo o exemplo da Finlândia, França, Holanda, Polônia, Suécia, Suíça e Inglaterra.

Kloepfer (2010) afirma que a codificação do direito ambiental pode gerar expressivos efeitos políticos, influenciando de maneira integrada os diferentes campos da política ambiental, fortalecendo sua importância e com isso levar a Alemanha à sua antiga posição de protagonista na condução do direito ambiental na Comunidade Européia (CE).

Para Borchardt (2000) a CE é solidária e por consequência, autoridades nacionais devem respeitar os tratados comunitários e as normas de execução emanadas das instituições comunitárias, por meio do mecanismo da diretiva, que fixa com caráter vinculante a meta a alcançar pelos Estados-Membros [...] as autoridades nacionais, por meio da aplicação do direito nacional, decidem acerca dos meios e forma para efetivá-lo.

As Diretivas Prevenção Integrada de Poluição (PIP), Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e REACH¹⁰ são exemplos do alinhamento legal. Esta última em implantação na Europa trará maiores exigências para as empresas que operam com produtos químicos perigosos, especialmente o cromo hexavalente nas galvanicas.

¹⁰ REACH (**R**egister, **E**valuation, **A**uthorization, **C**hemicals) é a nova legislação sobre substâncias químicas da União Européia, aprovada em dezembro de 2006. Trata-se de um regulamento aprovado pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da Comunidade Européia, relativo ao registro, à avaliação, à autorização e à restrição de produtos químicos. O regulamento criou a Agência Européia de Substâncias Químicas e alterou a Diretiva 1999/45/CE e o Regulamento (CE) relativo aos Poluentes Orgânicos Persistentes. A implementação da diretiva REACH será concluída até junho de 2018. (ABIQUIM, 2016).

De acordo com Fritsche et al (2013), a legislação federal alemã (*Bundesgesetze*) influenciada pelo direito comunitário europeu subordina todos os demais níveis hierárquicos legislativos. As leis estaduais (*Landesgesetze*), mais específicas e rigorosas, condicionam os decretos e portarias (*Verordnungen*), que possuem parâmetros e exigências técnicas bastante detalhados. Em último nível hierárquico estão as normas de fabricação e uso de produtos, a exemplo das normas alemãs (*Deutsches Institut für Normung – DIN*) e das normas européias (*Europäisch Normung - EN*).

Apesar do longo processo de discussão para constituir um código ambiental alemão, não houve consenso necessário para unificar as leis.

A legislação ambiental no Brasil, por outro lado, é composta por leis ordinárias, decretos, resoluções e portarias, cuja competência legislativa pertence à União, Estados e ao Distrito Federal, com exceção dos municípios conforme prevê a Constituição Federal (BRASIL, 1988).

Segundo Silva (1999b), no campo da competência legislativa concorrente limitada, a União não pode adentrar no espaço de normas específicas, da mesma forma os Estados não podem expedir normas gerais; [...] verifica-se, pois, que a mera reprodução das normas gerais da União em lei estadual que se disponha a complementá-las não acarreta inconstitucionalidade da lei estadual; [...] o ideal é que haja uma sistematização da matéria legislada para sua melhor aplicação.

À semelhança da legislação alemã, a lei ambiental brasileira, não constitui um código ambiental sistematizado, mas um conjunto de leis, decretos, portarias e resoluções que devem apresentar-se harmônicos.

A ausência de parâmetros ambientais estaduais mais detalhados, tornam a legislação federal geral. É o caso das emissões galvânicas no Brasil, que possuem parâmetros mais rigorosos somente em dois Estados.

Em outros casos a exigência ambiental federal torna-se eficaz como é o caso das atividades galvânicas no Brasil que necessitam de licenciamento ambiental conforme previsto na Resolução CONAMA 237/1997 (BRASIL, 1997). Em seu Anexo 1 se estabelece que empresas mecânicas para fabricação de máquinas, equipamentos, acessórios, entre outros com ou sem tratamento térmico e/ou de superfície e ainda indústrias diversas de serviços de galvanoplastia estão sujeitas ao licenciamento ambiental.

De modo semelhante, a Alemanha exige o licenciamento ambiental para construção, operação de indústrias e mudanças importantes em suas estações de tratamento de efluentes, conforme Lei de Gestão da Água (*Wasserhaushaltsgesetz-WHG*, 2009).

5.1.2 COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS LEGAIS DE LANÇAMENTO NO MEIO AMBIENTE

Em indústrias galvânicas é comum a presença de atmosferas ácidas e que contém metais pesados e ferrosos. Os metais pesados são de especial interesse na galvanoplastia, por se constituírem na matéria prima da eletrodeposição.

Interessante destacar que a Resolução CONAMA 382/2006 (BRASIL, 2006) recomenda evitar a expressão metais pesados, uma vez que estes não possuem uma definição científica, sendo necessário citar os metais de interesse específico da amostragem.

5.1.2.1 PARÂMETROS DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS

Os parâmetros de lançamento de efluentes dos compostos químicos usualmente utilizados em processos de galvanização foram obtidos da legislação ambiental do Brasil e da Alemanha, e apresentadas na revisão da literatura. Os parâmetros apresentados nos QUADROS 4 e 13 foram reunidos no QUADRO 22 para facilitar a comparação dos valores, de onde se mostra as concentrações máximas permitidas para o lançamento de efluentes industriais galvânicos na Alemanha e no Brasil.

Os padrões de concentração do cianeto livre (0,2 mg/L) e cromo VI (0,1 mg/L) nos efluentes industriais são iguais no Brasil e na Alemanha. Entretanto o QUADRO 22 indica que Legislação Federal na Alemanha não limita as concentrações de cianeto total. De acordo com FOSFERTIL (2016) os limites de cianeto total são de 20 mg/L em Mainz, 5 mg/L em Frankfurt e 20 mg/L em Algsburg, ou seja o limite de cianeto total é regulado pelo Estados. No Brasil o limite

é estabelecido para todo o país e fixado em 1 mg/L, valor inferior aos limites alemães.

QUADRO 22 – PARÂMETROS PARA EFLUENTES GALVÂNICOS NA ALEMANHA E NO BRASIL

COMPOSTOS QUÍMICOS	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	
	NA ALEMANHA <i>Abwässerordnung</i>	NO BRASIL Resolução CONAMA 430/2011
Cianeto livre	0,2	0,2
Cianeto total	nc	1,0
Cromo VI	0,1	0,1
Cromo III	nc	1,0
Cromo total	0,5	Nc
Níquel	0,5	2,0
Cobre	0,5	1,0
Cádmio	0,2	0,2
Zinco	2,0	5,0
Estanho	2,0	4,0
Chumbo	0,5	0,2
Prata	0,1	0,1
Ferro	3,0	15,0
Enxofre	1,0	1,0

nc – não consta

FONTE: DEUTSCHLAND (1997) e BRASIL (2011).

Com relação ao cromo a Alemanha regulamenta os limites de cromo VI e total, no Brasil os valores são apresentados separadamente e portando o cromo total não deve ser superior a 1,1 mg/L, valor superior ao alemão que é de 0,5 mg/L para cromo total.

Ambos são compostos tóxicos e de acordo com Valenzuela (2008) a exposição por 1 hora em atmosfera com concentração de cianeto de 100 mg/m³ torna-se fatal. Embora não esteja claramente definido o nível máximo de cromo, estudos sugerem que a concentração máxima seja de 0,05 mg/L. A dose tóxica para o homem é de 0,5 mg de bicromato de potássio, sendo desconhecidos os valores de íon cromato que podem ser tolerados pelo homem. Contudo, a literatura informa que o cromo trivalente é dez vezes menos nocivo que o cromo hexavalente (VALENZUELA, 2008).

Em geral os demais metais pesados apresentam-se em concentrações permitidas superiores que a concentração do cromo VI, tanto para o caso alemão como para o brasileiro. O Brasil é mais tolerante com a presença de metais

pesados em seus efluentes industriais, pois as concentrações permissíveis de zinco, estanho, cobre e níquel são o dobro do permitido na Alemanha.

Em galvanicas é muito comum o uso de banhos contendo cianetos e metais pesados, os quais são enviados para a estação de tratamento de efluente (ETE) para o tratamento e posterior descarte. Assim a remoção do cianeto e cromo VI é fundamental nos tratamentos de efluentes, bem como o conhecimento das relações entre metais pesados e cianeto ou cromo VI são importantes. No Brasil verificou-se que a relação entre as concentrações (metais pesados/cianeto ou cromo VI) é superior do que na Alemanha. Por exemplo, a relação das concentrações entre zinco/cianeto livre na Alemanha é de 10 enquanto no Brasil é 25 e para a relação níquel/cromo VI na Alemanha é 5, no Brasil é 20. O que torna a concentração de poluentes tóxicos que podem ser lançadas nos corpos hídricos muito superiores, causando uma maior poluição do meio ambiente.

Por outro lado, concentrações mais rigorosas recomendam às galvanicas, a substituição destes compostos químicos por outros menos tóxicos. A tendência na Alemanha, com a implantação da Diretiva REACH, é a adoção de outros métodos depuradores como troca iônica, osmose reversa e a quebra eletrolítica, além do tratamento físico-químico. O nível de exigências para o controle do cromo VI, obrigará as empresas a investimentos em mudanças na produção, em equipamentos, além de estações de tratamento de efluentes mais modernas.

Este é o caso em que a legislação obriga as empresas na implementação de programas de prevenção a poluição (PP ou P+L). Possivelmente, com padrões ambientais mais exigentes e utilização de métodos de depuração mais caros, torne-se viável economicamente recuperar metais pesados dos lodos e substituir compostos altamente tóxicos. A direção da empresa alemã pesquisada informou que atualmente os custos para recuperação de metais pesados a partir do lodo é muito caro e não compensa fazê-lo.

Quanto ao limite de concentração de ferro nos efluentes industriais o Brasil possui um valor muito elevado (15 mg/L), superando a Alemanha em 12 mg/L. A presença destes metais pesados e do ferro nos corpos hídricos, inibe a biota, dificulta o tratamento da água nas estações de tratamento e onera seus custos.

As diferenças dos parâmetros ambientais entre Alemanha e Brasil, em valores absolutos, demonstram que na maioria dos compostos usados em galvanicas, o Brasil é mais condescendente.

Adicionalmente, as leis federais da Alemanha e do Brasil, *Abwasserordnung* (1997) (DEUTSCHLAND, 1997) e Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) respectivamente, se diferenciam quanto às recomendações de caráter qualitativo e de procedimentos de tratamento sobre os efluentes.

A lei federal alemã é específica quanto à natureza de efluente. Refere-se com detalhes ao tipo de efluente de cada atividade industrial. Para efluentes galvânicos, por exemplo, a *Abwasserordnung* (DEUTSCHLAND, 1997) exige medidas para a redução de contaminantes nos efluentes, como a racionalidade na dosagem correta dos componentes químicos, a transposição adequada das peças entre os banhos evitando respingos, a substituição do ácido cianídrico nos banhos por cianeto livre e o uso de cianeto livre de nitrohipoclorito, o que o torna não tóxico, entre outras.

Outras exigências da lei alemã sobre efluentes galvânicos estão apresentados no item que trata legislação sobre efluentes da revisão de literatura, de onde se destacam:

- a) utilização de filtração por membranas, troca iônica, eletrólise, processos térmicos para depuração de contaminantes.
- b) o reaproveitamento da água de lavagem através de lavagem em cascata e a aplicação de troca iônica.
- c) a recuperação dos ácidos EDTA e seus sais nos banhos de cobre e banhos de lavagem.
- d) a necessidade de exames químicos para determinar a concentração de hidrogênio.
- e) a necessidade de comprovação de concentrações de organo halogenados adsorvíveis (AOX) e cloro livre, por exames químicos, para efluentes misturados.
- f) o emprego de ferro e sais de alumínio na proporção de 1 kg para cada 100 mg de AOX no tratamento das águas residuárias com AOX.
- g) sugere-se substituição do ácido cianídrico nos banhos por cianeto livre, manter o cianeto livre de nitrohipoclorito.

Na Alemanha também é exigido o automonitoramento ambiental, em Baden Württemberg e denomina-se EKVO – *Eigenkontrollverordnung (Verordnung*

des Umweltministeriums über die Eigenkontrolle Von Abwasserranlagen). As regras do automonitoramento variam de acordo com os Estados, sendo trimestral (UMWELTRECHT, 2015).

A lei federal brasileira faz exigências sobre os efluentes de forma geral, não diferenciando os tipos de efluentes e suas origens industriais. As condições de lançamento de efluentes em corpos receptores, da Resolução 430/2011, como pH entre 5 a 9, proibição de poluentes orgânicos persistentes, proibição de material flutuante no efluente, entre outras (BRASIL, 2011). Em razão da hierarquia das leis brasileiras, prevista na Constituição Federal, os Estados têm a possibilidade de definir outros parâmetros e limites exigidos.

Porém, o aspecto desfavorável desta constatação é a possibilidade de ocorrer grandes disparidades entre os parâmetros ambientais dos efluentes, em particular os industriais, entre Estados e regiões do país.

5.1.2.2 PARÂMETROS PARA EMISSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA

Em atmosferas de empresas galvânicas são muito comuns os vapores de ácidos clorídrico, sulfúrico, fosfórico, entre outros, além de componentes de cromo, zinco, níquel, cobre e de outros metais pesados (SILVA,1999a).

Os padrões de qualidade do ar preconizados pela Comunidade Européia, por meio da Diretiva CE 50 (2008) seguem os padrões divulgados pela Organização Mundial da Saúde, em relação ao material particulado (MP10) e aos óxidos de nitrogênio (NO_x), em suas médias anuais. Quanto ao material particulado MP2,5 a diretiva européia é menos exigente que a OMS.

As galvânicas européias devem respeitar os limites estabelecidos pela diretiva CE 50, para o arsênio, cádmio e níquel vistos no QUADRO 23.

A OMS não estabelece parâmetros para os metais pesados. Observa-se também que os padrões da Resolução CONAMA 03 (1990) são mais permissivos que os padrões da OMS e da Diretiva CE 50 (2008).

A Legislação alemã para as emissões industriais que envolvem processos de combustão controla a emissão de alguns metais pesados, que se fazem presentes também em galvânicas. Os processos de combustão liberam na atmosfera poluentes como compostos inorgânicos clorados, óxidos de enxofre,

óxidos nitrogenados e compostos de metais pesados como o estanho, níquel, cromo, cobre, entre outros e podem auxiliar na análise comparativa.

QUADRO 23 – COMPARAÇÃO DE PADRÕES DA DIRETIVA EUROPEIA, OMS E RESOLUÇÃO CONAMA PARA QUALIDADE DO AR

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO		
	Diretiva CE n.50 de 2008	OMS de 2005	CONAMA 03/1990
MP2,5	25 µg/m³	10 µg/m³	--
MP10	40 µg/m³	20 µg/m³	50 µg/m³
NOx	40 µg/m³	40 µg/m³	100 µg/m³
SOx	125 µg/m³ (24h)	20 µg/m³ (24h)	100 µg/m³ (24h)
Cádmio	5 ng/m³	-	-
Níquel	20 ng/m³	-	-
Arsênio	6 ng/m³	-	-

FONTE: Adaptado de DIRETIVA 50 (2008), OMS (2005), Resolução 03 CONAMA (1990).

O QUADRO 24 apresenta alguns parâmetros de metais pesados gerados em processos de combustão.

QUADRO 24 – LEIS ALEMÃS DE PADRÃO DE QUALIDADE DO AR

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO (mg/m³)		
	BlmSchG Grandes fornos	BlmSchG Resíduos de combustão	BlmSchG Pequenas chaminés
Cádmio	0,5 a 2,0	0,05	Nc
Níquel	0,5 a 2,0	0,5	Nc
Cromo, cobre, cobalto, estanho	0,5 a 2,0	0,5	Nc
Dióxido de enxofre	35 a 2000	50	0,2
Ácido clorídrico	30 a 200	10	Nc
Ácido fluorídrico	5 a 30	4	Nc

FONTE: Adaptado DEUTSCHLAND (1996).

Como a Alemanha não estabelece padrões para emissão de galvânicas os padrões da CE devem ser atendidos, ou seja, cádmio (5 ng/m³) e níquel (20 ng/m³). Observa-se que os padrões da Comunidade Européia para o cádmio e níquel são baixíssimos em relação à lei alemã BlmSchG (1996).

Em razão da legislação das emissões na Alemanha priorizar os processos de combustão, considerados os principais poluidores do ar, e na lacuna de parâmetros específicos para as atividades galvânicas, de acordo com Dettinger

(2015) convencionou-se, no setor galvânico, adotar como parâmetros de emissões aqueles definidos pela legislação de saúde ocupacional, consubstanciado na norma TRGS 900.

A lei federal brasileira sobre os padrões de qualidade do ar está expressa nas Resoluções CONAMA 05/1989, 03/1990, 382/2006 e 436/2011 (BRASIL, 2011; BRASIL, 2006, BRASIL, 1990; BRASIL, 1989).

Os padrões de emissões das resoluções adotadas atualmente são atrelados ao potencial de consumo de energia da planta industrial geradora do poluente, sendo considerado em termos de potência térmica nominal; fato que se assemelha com a legislação alemã que adota padrões de emissão em função da potência instalada da planta industrial. De modo geral, quanto maior a potência energética menor será a concentração dos poluentes nas emissões. Maior potência significa maior emissão. Assim, as concentrações, por volume ou por massa, devem ser menores quando a potência instalada da indústria é elevada, pois o objetivo é reduzir o impacto sobre o meio ambiente (BRASIL, 2011; BRASIL, 2006).

Os parâmetros apresentados nas resoluções federais brasileiras não regulamentam as emissões produzidas pelas atividades galvânicas, pois a determinação e fixação dos padrões de poluentes atmosféricos são de competência estadual (BRASIL, 1990).

De acordo com CPRH (2001) para emissões gasosas provenientes de empresas galvânicas, o limite de concentração dos poluentes deverá atender aos limites de tolerância da NR15, da Portaria 3214 do Ministério do Trabalho, as quais recomendam as concentrações máximas no ambiente de trabalho.

Recomendar que o ar emitido pelas empresas galvânicas atenda aos mesmos padrões de proteção da saúde dos trabalhadores, coloca a população vizinha às empresas em condições isonômicas de bem estar e saúde. Contudo, isso onera o custo do tratamento das emissões, pois as emissões geradas são coletadas por sistemas de exaustão e encaminhas para processos de remoção de poluentes que de acordo com Schnelle e Brown (2002) podem incluir absorção, adsorção, condensação, incineração e queima, os quais são processos de tratamento relativamente caros.

Os padrões da NR 15 são muito rigorosos para as emissões atmosféricas de galvânicas, e, portanto as concentrações adotadas poderiam ser mais elásticas.

A sustentabilidade econômica da empresa requer um equilíbrio entre a saúde dos trabalhadores, a saúde pública e a proteção do meio ambiente.

Os Estados que possuem legislação específica a respeito são os Estados de São Paulo (CPRH, 2001) e Paraná (PARANÁ, 2014). De acordo com CPRH (2001) a legislação paulista é bastante restritiva e apresenta padrões de emissão, principalmente para material particulado em suspensão.

A Resolução SEMA 16/2004, do Estado do Paraná, é bem específica quanto aos parâmetros para o setor galvanicos (PARANÁ, 2014). Os padrões estão relacionados com a taxa de emissão e concentração total de poluentes na saída da chaminé. Os metais pesados controlados são cádmio, mercúrio, tálio, cobalto, níquel, selênio, telúrio, arsênio, chumbo, antimônio, cromo, cobre, manganês, vanádio, estanho, além de cianetos e diversas outras substâncias comuns em processos galvanicos.

A legislação também estabelece os padrões de emissão de material particulado inorgânico para diferentes classes de misturas e as condições em que ocorrem diferentes misturas de classes simultaneamente, por exemplo, classe I (1,0 g/h) e classe II (5,0 g/h) que contém cádmio, mercúrio, tálio, cobalto, níquel, selênio, telúrio, arsênio, neste caso o padrão de emissão é inferior a 1,0 mg/L (soma dos particulados).

Outro exemplo é o de substâncias inorgânicas da classe II acrescidas de bromo, cloro, ácido cianídrico, ácido fluorídrico, gás sulfídrico e ácido sulfúrico à condição de que para vazões de gases a partir de 50 g/h a concentração das substâncias deve ser menor que 5 mg/Nm³.

Desta forma, a quantidade de substâncias emitidas para a atmosfera dependerá das vazões de saída praticadas, devendo ser controlada a concentração pelo automonitoramento, que deve ser trimestral, conforme os artigos 70º em diante da Resolução 16/2014 (PARANÁ, 2014).

Esta legislação estadual qualifica os processos galvanicos paranaenses e permite um ganho ambiental, possibilitando uma qualidade do ar adequada em regiões em que existe um grande número de galvanicas, como é o caso de Loanda no noroeste do Paraná.

5.2 COMPARAÇÃO DE PARÂMETROS NO AMBIENTE DE TRABALHO

O QUADRO 25 apresenta as concentrações máximas nas emissões nos locais de trabalho para a Alemanha e o Brasil, comparando a TRGS 900 com a NR 15, somente para algumas substâncias presentes em galvanicas.

QUADRO 25 – CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE EMISSÕES GALVÂNICAS NA ALEMANHA E NO BRASIL

SUBSTÂNCIA QUÍMICA	ALEMANHA – TRG 900		BRASIL – NR 15	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Ácido clorídrico	1,0	4,0	4,0	5,5
Ácido crômico	nc	2,0	nc	0,04
Ácido acético	10,0	25,0	8,0	20,0
Ácido fluorídrico	1,0	0,83	2,5	1,5
Ácido fórmico	5,0	9,5	4,0	7,0
Ácido sulfúrico	nc	0,1	nc	nc
Ácido nítrico	1,0	2,6	nc	nc
Ácido cianídrico	nc	nc	8,0	9,0
Bromo	nc	0,7	0,08	0,6
Cloro	0,5	1,5	0,8	2,3
Níquel	nc	0,006	0,04	0,28
Estanho (IV)	nc	2,0	nc	nc
Zinco	nc	5,0	nc	nc

FONTE: Adaptado de DEUTSCHLAND (2006) e BRASIL (1978).

A Alemanha possui parâmetros químicos mais rigorosos para o ácido sulfúrico (0,1 mg/L) e ácido fluorídrico (0,83 mg/L) em relação aos demais ácidos, por serem ambos mais oxidantes. Por outro lado, as concentrações máximas do ácido acético (25 mg/L) e do ácido fórmico (9,5 mg/L) são mais toleráveis. O ácido cianídrico não possui valores máximos permitidos na lista da TRGS 900.

Diferentemente, no Brasil o ácido cianídrico, muito freqüente nas galvanicas, é um dos ácidos listados na NR 15 com maior concentração permitida (9,0 mg/L), juntamente com o ácido acético (20 mg/L).

O Brasil possui ácidos com parâmetros mais rigorosos do que seus equivalentes da Alemanha como o ácido crômico (0,04 mg/L), ácido acético (20 mg/L) e ácido fórmico (7,0 mg/L). O ácido crômico, muito utilizado em processos de cromagem, é o de maior restrição ambiental.

A emissão de níquel na Alemanha possui parâmetro ambiental (0,006 mg/L) muito mais restrito do que no Brasil (0,28 mg/L), e para o estanho e zinco, a legislação brasileira não possui parâmetros, sendo 2 mg/L e 5 mg/L os valores respectivos na Alemanha.

Os padrões ambientais dos locais de trabalho constantes da NR 15 foram estabelecidos pela Portaria 3214 de 1978, tendo sofrido pequenas alterações como foi o caso do benzeno, que recebeu um anexo próprio na NR15. A comparação entre a NR 15 e a TRGS 900 mostra a necessidade de se promover a atualização dos parâmetros brasileiros, que estão defasados e com várias lacunas de parâmetros torna o ambiente de trabalho precarizado.

A NR 15 (1994) não estabelece limites de tolerância para vários tipos de agentes químicos, omitindo importantes substâncias do ponto de vista ocupacional (SALIBA, 2004).

Neste caso o Programa de Prevenção de Riscos Ocupacionais (NR 9, 1994) do MTE estabelece que:

9.3.5.1 Deverão ser adotadas as medidas necessárias e suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que forem verificadas uma ou mais das seguintes situações:

c) Quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores limites previstos na NR 15, ou na ausência destes, os limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos.

Entre as medidas preconizadas para eliminação, minimização e controle dos riscos no ambiente de trabalho pode-se citar a substituição do produto tóxico ou nocivo, mudanças ou alterações do processo ou operação, encerramento ou enclausuramento da operação, segregação da operação ou processo, umidificação

em ambientes com poeira, ventilação geral diluidora, ventilação local exaustora, ordem e limpeza, entre outras (SALIBA, 2004).

As medidas de controle relativas aos trabalhadores compreendem a limitação do tempo de exposição, educação e treinamento, utilização de equipamentos de proteção individual e controle médico (NR 9, 1994).

O QUADRO 26 apresenta as concentrações-limites de tolerância da NR 15, da ACGIH e da TRGS 900 para algumas substâncias existentes em galvanoplastia.

QUADRO 26 – CONCENTRAÇÕES- LIMITES DE TOLERÂNCIA DA NR 15, ACGIH E TRGS 900

CONTAMINANTE	NR 15 (ppm)	ACGIH (ppm)		TRGS 900 (ppm)
		40 h/s	44h/s	
Ácido clorídrico	4	5	4,4	1
Ácido acético	8	10	8,8	10
Ácido sulfúrico	nc	3	2,64	nc
Ácido nítrico	nc	2	1,76	1
Ácido cianídrico	8	4,7	4,136	nc
Dióxido de enxofre	4	2	1,76	1
Dióxido de nitrogênio	4	3	2,64	nc

FONTE: Adaptado de SALIBA (2004) e TRGS 900 (2006).

As concentrações-limite de tolerância mostrados na terceira coluna do QUADRO 26 possui duas condições de jornada semanal de trabalho: 40 e 44 horas. Os Estados Unidos, onde está sediada a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*, possuem jornada de 40 horas semanais enquanto o Brasil 44 horas. Portanto, deve-se aplicar o fator de redução de 0,88 no caso brasileiro, em razão dos diferentes tempos de exposição dos trabalhadores às substâncias químicas. Para tempos de exposição maiores, as concentrações-limites de tolerância devem ser menores.

O fator de redução do limite de tolerância da ACGIH é calculado por meio da EQUAÇÃO 2, conhecida como Brief&Scala (SALIBA, 2004):

$$FR = \frac{40}{h} \times \frac{168 - h}{128} \quad (\text{EQUAÇÃO 2})$$

onde: FR é o fator de redução e “h” é a jornada semanal de trabalho em horas.

A comparação das concentrações-limites de tolerância da NR15 e da ACGIH para as 44 horas semanais mostra que para maioria as substâncias galvânicas apresentadas os limites da NR 15 são maiores; sendo que para o ácido nítrico e o ácido sulfúrico sequer há recomendações de limites pela NR15. Nestes casos devem-se adotar os limites da ACGIH para as 44 horas semanais de jornada de trabalho, ou seja, 1,76 e 2,64 ppm respectivamente. Entre os padrões apresentados no QUADRO 26, os limites de tolerância alemães são mais rigorosos do que aqueles propostos pelos higienistas norte-americanos.

Os limites de tolerância brasileiros são maiores e mais complacentes com substâncias químicas tóxicas e perigosas recomendam por si só a necessidade da atualização sistêmica dos valores de concentrações-limites dos produtos químicos constantes da NR 15, incluindo também aqueles que não possuem referências nacionais e outros compostos químicos que tenham surgido no período que compreende a edição da NR 15 de 1978 até o dia de hoje.

Segundo Bellovi (1996 citado por CAMPOS; TAVARES; LIMA, 2004), existem no mundo cerca de 6 milhões de produtos químicos registrados e aproximadamente 70 mil são empregados habitualmente na indústria, crescendo em número ano a ano.

A adoção dos parâmetros laborais, NR 15 e TRGS 900, como referências para as emissões atmosféricas tornam-se padrões excessivamente rigorosos e até anti-econômicos, uma vez que as concentrações admissíveis ou toleráveis nos locais de trabalho são muito menores em razão da presença humana em ambientes industriais em geral fechados. As concentrações de poluentes lançados na atmosfera previstos nas legislações ambientais, a exemplo da Resolução SEMA 16/2014 (PARANÁ, 2014), ocorre em ambiente aberto e com ventos, o que ocasiona rápida diluição dos contaminantes no ar.

Por fim, a medição das concentrações dos gases e vapores nos locais de trabalho pode ser feita de modo instantâneo ou contínuo. No primeiro caso a medição deve ser próximo ao corpo dos trabalhadores, particularmente no tronco, membros superiores e cabeça. De acordo com Saliba (2004), estas são na prática, medições estáticas, pontuais e momentâneas, que utilizam detectores de gases e tubos colorimétricos ou reagentes, além de sensores eletroquímicos. Para as medições contínuas utilizam-se amostradores gravimétricos com meio de coleta adequado como filtros, tubos de carvão ativados, entre outros.

5.3 AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS E DOS CONTROLES AMBIENTAIS NAS EMPRESAS VISITADAS

5.3.1 “EMPRESA A” NA ALEMANHA

A “empresa A” realiza operações de anodização, cromação, zincagem e cobreação. O pré-tratamento mecânico não é realizado, somente desengraxe, uma vez que as peças a serem galvanizadas apresentam excelente conformação física quando são encaminhadas por seus clientes.

A movimentação das gancheiras entre os banhos é automatizada por meio de pórtico que pode ser visto na FIGURA 14.

FIGURA 14 – PORTAL AUTOMÁTICO COM GANCHEIRAS

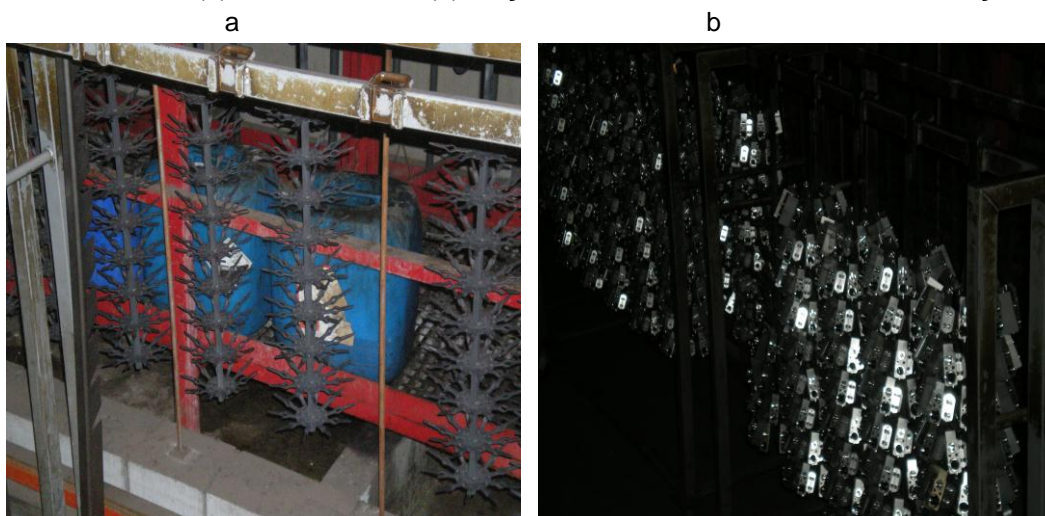


FONTE: Autor (2015).

A colocação das peças nas gancheiras requer cuidado especial para que a polaridade desejada possa alcançar efetivamente as peças a serem galvanizadas. Se isto não ocorrer, poderá haver falta de cobertura metálica protetiva. Nos pontos de contato entre a gancheira e os produtos poderá faltar cobertura metálica, o que é esperado em razão do contato das superfícies. Em geral, as empresas contratantes dos serviços de galvanoplastia informam como os produtos devem ser fixados nas gancheiras, já prevendo esta carência na cobertura metálica.

A FIGURA 15 mostra (a) as gancheiras sem as peças e (b) os produtos colocados nas gancheiras para galvanização.

FIGURA 15 – (a) GANCHEIRAS, (b) PEÇAS DE ALUMÍNIO PARA GALVANIZAÇÃO



FONTE: Autor (2015).

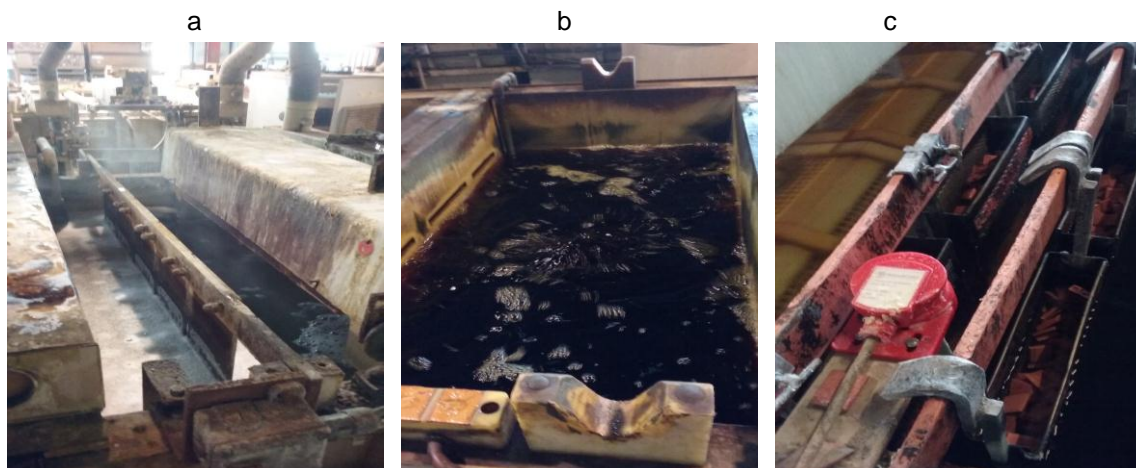
Os tanques de polipropileno para os banhos de lavagem são lavados e a água trocada uma vez por semana, em razão do processo ser contínuo. As concentrações de ácido sulfúrico e de eletrólito de alumínio são medidas duas vezes por semana. A água de processo vem da companhia de saneamento e antes de entrar no processo passa por um abrandador, a fim de remover a dureza total (cálcio e magnésio) e na sequência alimenta um sistema de membranas de osmose com o objetivo de remover principalmente a concentração total de sais dissolvidos (TDS), adequando a condutividade da água permeada para valores inferiores a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conforme a qualidade de água demandada pelo processo galvânico.

A anodização é realizada somente em peças de alumínio com gancheiras de titânio, que é um bom condutor elétrico e não se oxida nos banhos químicos. Nesta operação oxida-se o alumínio, criando uma capa protetora de óxido de alumínio de no máximo 0,5 μm , por meio de uma solução aquosa de ácido sulfúrico em temperaturas ambiente de 20 °C. Se a temperatura reduzir, o ácido não oxida o alumínio. Utiliza-se corrente contínua e tensão de 15 a 17 V. O tempo de permanência das peças nos banhos de anodização é de em torno de 40 minutos. Ao finalizar a anodização devem-se selar os poros da capa metálica protetora e para isto pode-se aplicar banho de níquel a frio ou água fervente a 98 °C.

Entre os banhos químicos, o de cromação apresenta-se como um dos mais tóxicos, em razão do cianeto presente na solução e do cromo VI considerado cancerígeno, acumulando-se nos rins e aparelho respiratório.

A FIGURA 16 mostra (a) o banho de desengraxe, (b) o banho de cromo e (c) o banho de cobre, onde se observa a “cesta polarizada” com pedaços de cobre no lado direito.

FIGURA 16 – (a) BANHOS DE LAVAGEM, (b) DE CROMAÇÃO, (c) DE COBREIAÇÃO



FONTE: Autor (2015).

A proximidade entre os tanques de cianeto com os banhos de solução ácida ou de águas de lavagem que contem íons cianeto ou íons de H^+ pode formar o gás cianídrico que poderá ser fatal dependendo da concentração. De acordo com Silva (1999a) o cianeto no organismo adere ao ferro da hemoglobina e ocupa o lugar do oxigênio, impedindo a troca gasosa entre CO_2 e O_2 , podendo gerar morte por asfixia.

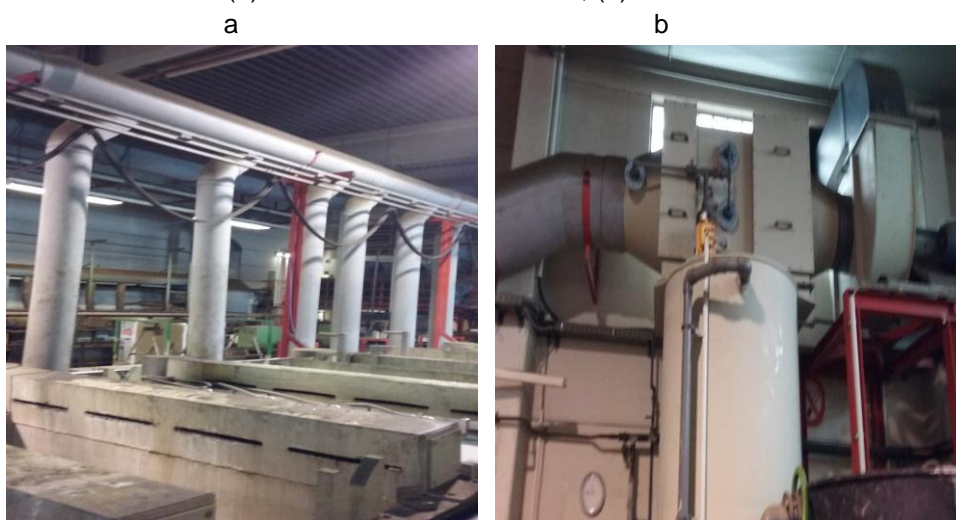
Segundo Dettinger (2015) está em implantação na Europa, uma diretiva que proibirá a utilização do cromo VI, de modo indiscriminado, a partir de 2017, conhecida como Diretiva Reach.

Desta forma, com a Diretiva Reach as empresas deverão estar rigorosamente em sintonia com a legislação ambiental e de segurança e saúde no trabalho para terem licença de uso do cromo VI, insumo fundamental para a cromação.

O sistema de exaustão de gases e vapores ácidos dos banhos químicos é fundamental para a saúde dos trabalhadores e para a proteção do meio ambiente. Após a lavagem dos gases e vapores, a água residual é tratada juntamente com a água dos banhos de lavagem dos tanques.

A FIGURA 17 mostra em (a) o sistema de exaustão com captação por frestas e os dutos que conduzem os contaminantes para (b) o lavador de gases.

FIGURA 17 – (a) SISTEMA DE EXAUSTÃO, (b) LAVADOR DE GASES



FONTE: Autor (2015).

A água dos tanques carrega soluções com metais pesados em forma de íons de hidróxidos. Para que possa ser descartada, esta água deve se submetida a um processo de tratamento físico-químico convencional, ou seja, coagulação e precipitação de metais em meio alcalino (ajuste de pH com NaOH). O cianeto é oxidado com NaOCl e o cromo VI reduzido a cromo III com NaO_4SO_4 . O lodo precipitado é direcionado para um filtro prensa, com o objetivo de reduzir o teor de umidade do lodo gerado e depois colocado em caçamba para recolhimento por empresa terceirizada e especializada em descartes de resíduos industriais. O lodo galvânico produzido na empresa “A” é recolhido por empresa especializada em rejeitos industriais e incinerado ao custo de 800,00 Euros por caçamba com 7 m³, a cada dez dias.

Os trabalhadores são submetidos anualmente a exames médicos; há equipamentos de proteção individual, chuveiro de emergência e lava-olhos.

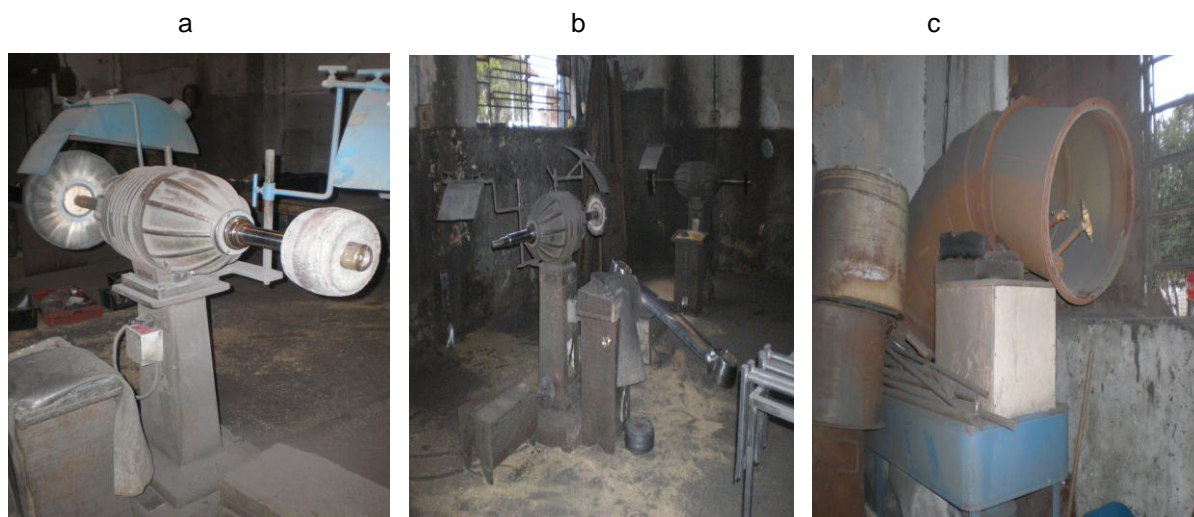
5.3.2 “EMPRESA B” NO BRASIL

Instalada em barracão de aproximadamente 1.200 m², possui aspecto antigo. Realiza processos de cromagem, zincagem, niquelação e cobreamento.

A iluminação geral é deficiente, tanto na área de pré-tratamento, onde são realizados os processos mecânicos de abrasão, como nas áreas dos banhos químicos. A FIGURA 18 mostra o equipamento para lixamento e polimento das

peças, o aspecto escuro da área de pré-tratamento e o sistema de exaustão que está desativado.

FIGURA 18 – (a) LIXADEIRA/POLIDEIRA, (b) PRÉ-TRATAMENTO, (c) SISTEMA DE EXAUSTÃO



FONTE: Autor (2016).

A FIGURA 19 mostra algumas situações de inconformidades encontradas durante as visitas realizadas.

FIGURA 19 – (a) ÁREA DE BANHOS, (b) TANQUE DE CROMAGEM, TANQUE DE NIQUELAGEM (c)



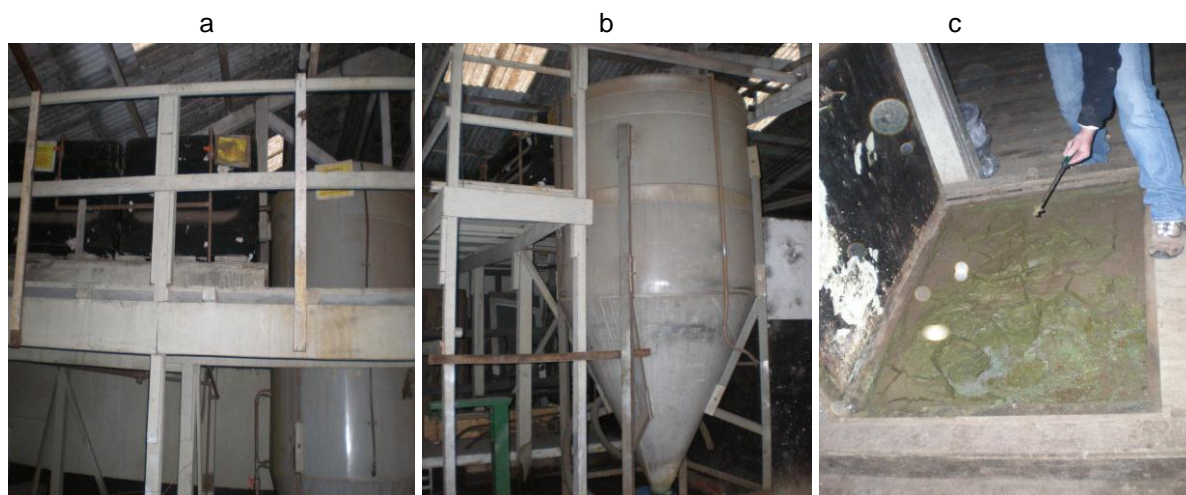
FONTE: Autor (2016).

As áreas destinadas aos banhos químicos possuem tanques bastante usados e com vida útil vencida, os estrados laterais aos tanques são de madeira. Não há sistema de contenção de vazamentos dos banhos e sistema de exaustão de gases e vapores sobre os banhos químicos. O almoxarifado existente é precário e

não segue o princípio de “ordem e limpeza” e as regras de segurança previstas na NR 11 (BRASIL, 1978) que trata especificamente do transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais.

De acordo com as informações recebidas durante o estudo de campo, não há necessidade de recompor substancialmente os banhos químicos, devendo-se somente recuperar a solução química periodicamente para repor as concentrações das substâncias. Para o caso dos banhos de cromo, o ácido crômico tem sua concentração recuperada a cada dez anos. As águas de lavagem são destinadas ao tratamento químico, com a redução do pH e a consequente sedimentação do lodo com os metais pesados. Este processo ocorre nas instalações vistas nas imagens (a) e (b) da FIGURA 20.

FIGURA 20 – (a,b) ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE LAVAGEM , (c) DEPÓSITO DE LODO GALVÂNICO



FONTE: Autor (2016).

O lodo galvânico após ser sedimentado é levado a seis caixas coletoras interconectadas, implantadas ao nível do solo, onde o lodo é adensado por gravidade. A empresa não dispõe de filtro prensa e a água residual flui diretamente para a rede de esgoto. Por ocasião das visitas técnicas à empresa os seis compartimentos estavam repletos de lodos até a boca e fechados com tampa. A limpeza periódica das caixas coletoras é crucial para a continuidade da separação do lodo com os metais pesados, evitando assim que flua diretamente para a rede de esgotos. Com base nas observações realizadas em campo, quando as seis caixas de retenção estão cheias de lodo, uma empresa especializada remove o

lodo a um custo de R\$ 900,00 por caixa de retenção. Não há sistema de tratamento por troca iônica.

Do ponto de vista laboral, os trabalhadores são submetidos a exames médicos periódicos anuais de acordo com a NR 7 e há equipamentos de proteção individual. Em caso de emergência por contato com ácidos ou álcalis, há chuveiro de emergência e lava-olhos.

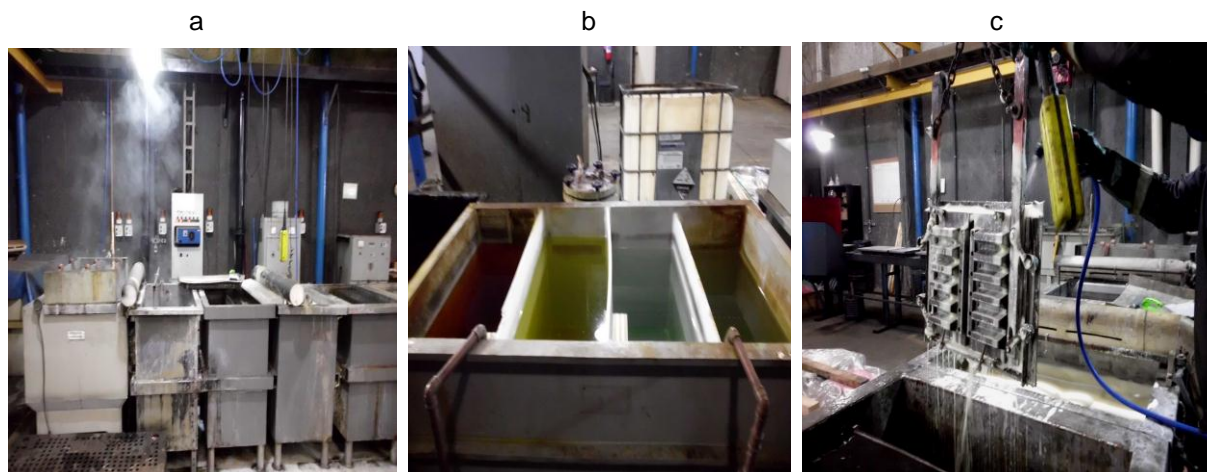
5.3.3 “EMPRESA C” NO BRASIL

As instalações dos tanques e passarelas são adequados; há sistema de exaustão sobre os tanques, bem como bacias de contenção ao redor dos tanques e processo semi-automático de transbordo de peças nos banhos químicos.

O desengraxamento das peças é feito por processo termoquímico, eletroquímico e por ultrassom em ambiente alcalino. Este último é um diferencial do desengraxe em razão da qualidade exigida para o tratamento da superfície das placas-prensa para máquinas de biscoitos Waffer.

A FIGURA 21 mostra os diversos banhos para o desengraxe das peças. A presença de vapor d'água é vista na imagem “a” em razão de alguns banhos serem aquecidos. A imagem “b” mostra tanques com soluções de lavagem e de passivação e na imagem “c” o escoamento da peça após o banho de lavagem e o uso de esguicho para complementar a operação. Vê-se também que o transbordo das placas das máquinas de fabricação de biscoitos é realizado por meio de talha elétrica.

FIGURA 21 – TANQUES DE DESENGRAXE (a), LAVAGEM, PASSIVAÇÃO (b), LAVAGEM FINAL (c)



FONTE: Autor (2016).

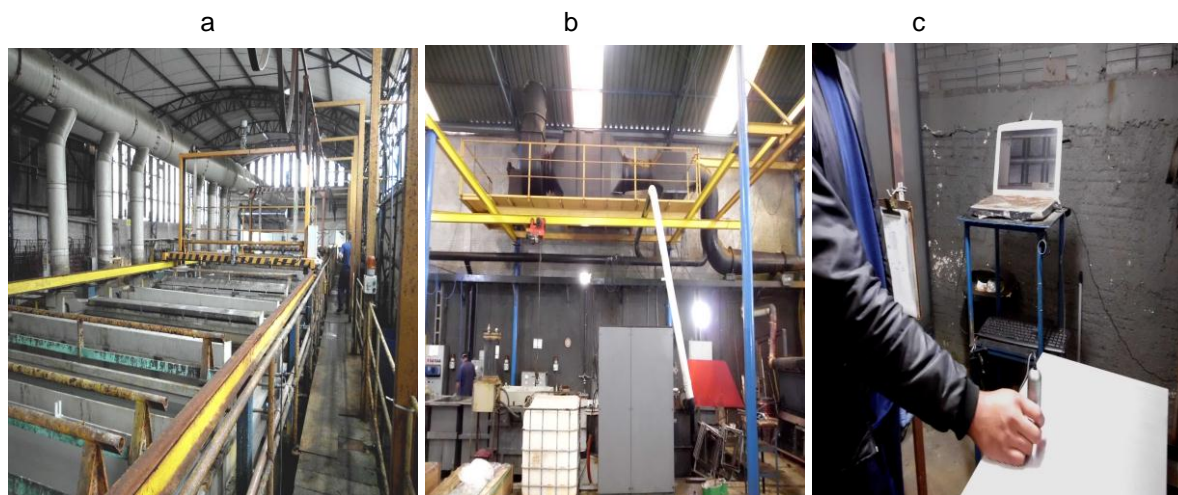
Os banhos de níquel e cromo duram em torno de 55 a 60 minutos, sendo o operador responsável pelo tempo correto de imersão das peças nos tanques. Isto é feito com relógio e planilha de controle.

O arranjo físico dos barracões é adequado, espaçoso, iluminado e bem ventilado. As circulações e passarelas são suficientes para o trânsito seguro de pessoas e cargas; os estrados são metálicos e permitem que respingos fiquem na bacia de contenção.

A FIGURA 22 apresenta um dos barracões, ressaltando o sistema de exaustão de vapores e ácidos, o lavador de gases e a bomba de emissão do ar para a atmosfera, na parte superior da imagem central.

A água dos lavadores de gases, em torno de 300 litros, transita em circuito fechado, sendo substituída periodicamente por água limpa. Neste caso, a água usada na lavagem dos gases e vapores ácidos é misturada com outras águas de lavagem dos tanques para o tratamento químico. De acordo com a direção da empresa, não é feito controle das emissões por meio de monitoramento ambiental na saída das chaminés.

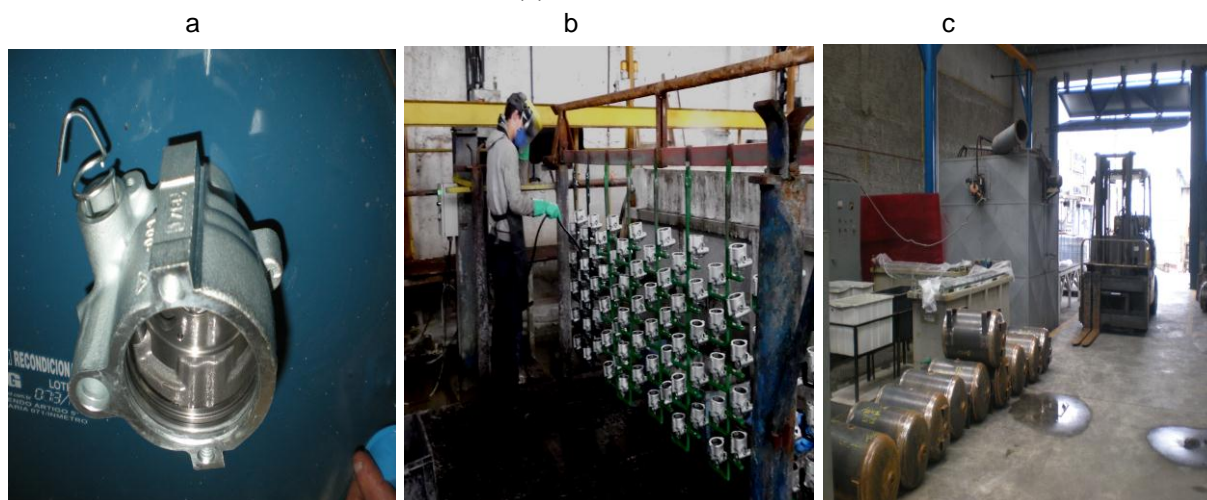
FIGURA 22 - BARRACÃO COM PÓRTICO SEMIAUTOMÁTICO (a), SISTEMA DE EXAUSTÃO, LAVADOR DE GÁS (b), ESPECTOGRAFIA (c)



FONTE: Autor (2016).

A FIGURA 23 mostra cilindros de direção hidráulica para automóveis, após a zincagem (a); a gancheira com peças galvanizadas removidas do banho para aspersão de ar comprimido com o objetivo de remover gotículas de ácido (b). Nesta linha, o processo inicia-se com ácido nítrico para ativação, seguido de banhos de zinco, cromo, aplicação de selante e secagem em estufa por 15 minutos

FIGURA 23 - CILINDROS DE DIREÇÃO HIDRÁULICA DE AUTOMÓVEL (a, b), CILINDROS DE FREIO DE LOCOMOTIVA (c)



FONTE: Autor (2016).

A imagem (c) da FIGURA 23 mostra vários cilindros de frenagem de locomotivas que serão pintados. Para estas peças de ferro a sequência de operações inicia-se com o jateamento, seguindo-se de fosfatização, pintura à pistola e finalmente com a secagem em estufa.

Em peças de alumínio há preparação mecânica, anodização e pintura. A anodização consiste na eletrodeposição de camada protetora de alumínio sobre peças de alumínio. A oxidação do alumínio, muito pequena quando comparada à de outros metais, é conhecida como corrosão branca.

A FIGURA 24 mostra o tanque de sedimentação (a), o filtro prensa (b) e a caçamba de empresa especializada que remove o lodo galvânico (c).

FIGURA 24 - (a) TANQUE DE SEDIMENTAÇÃO, (b) FILTRO PRENSA, (c) CAÇAMBA COM LODO



FONTE: Autor (2016).

O tratamento do efluente é realizado na estação onde um operador realiza dosagens de produtos alcalinos para permitir a sedimentação do lodo com os metais pesados, a destruição do cianeto e neutralização do cromo hexavalente. A empresa não realiza troca iônica para depuração complementar do efluente.

A empresa dispõe de laboratório de química para controle de qualidade de seus processos. Os conteúdos dos tanques dos banhos são renovados uma vez por ano. A estratégia da empresa é não guardar produtos químicos em almoxarifado, tendo desenvolvido um método de utilização de insumos químicos e relação com fornecedores, à semelhança do *just in time*.

Os trabalhadores realizam anualmente exames médicos ocupacionais anuais, conforme a NR 7. Há chuveiros de emergência, lava-olhos e equipamentos de proteção individual.

5.3.4 “EMPRESA D” NO BRASIL

A produção galvânica ocupa o barracão com ventiladores eólicos, propiciando ventilação difusa no ambiente de trabalho, combinada com o sistema de exaustão localizada sobre os banhos.

Em termos gerais, pode-se dizer que as instalações atendem aos requisitos técnicos de segurança, saúde e meio ambiente. O sistema de movimentação de peças entre os banhos é automatizado.

O grande diferencial da empresa D é a maneira como trata de seus efluentes e inclusive os efluentes de terceiros. As águas de lavagem são encaminhadas separadamente para uma estação de recuperação de metais pesados. Ao não misturar as águas de lavagem, permite-se remover o níquel, cobre, cromo e zinco de modo mais fácil e econômico.

A empresa D tem orientado outras empresas galvânicas a separar seus efluentes e a encaminhá-los de modo segregado para sua unidade de recuperação de metais pesados. Torna-se vantajoso para as empresas terceiras que entregam seus efluentes à empresa D, pois economizam no tratamento de efluentes e não precisam enviar o lodo galvânico para aterros industriais. Mas isto só é possível se as águas de lavagem estiverem separadas.

Outra forma de recuperar metais pesados é a partir dos lodos, obtidos sob determinadas condições. A empresa D detém o processo químico para esta finalidade sob sigilo industrial, porém informam que não são todos os lodos galvânicos que permitem a recuperação dos metais pesados.

Os metais pesados recuperados retornam ao processo produtivo da empresa D e também são comercializados como matéria prima reciclada para outras galvânicas.

Finalmente, outra inovação é a substituição do cianeto por gluconato na função de complexante, reduzindo a toxicidade do processo galvânico. A redução do cromo VI para cromo III, na empresa D, ocorre nos efluentes das águas de lavagem separadas.

Atualmente a galvanoplastia reutiliza totalmente os metais pesados reciclados e ainda comercializa o excedente.

5.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS TECNOLOGIAS E CONTROLES AMBIENTAIS DAS EMPRESAS GALVÂNICAS VISITADAS

A aplicação dos questionários foi levada a termo junto às direções das empresas e ao pessoal técnico de supervisão e de gerenciamento de produção. Aliadas às respostas obtidas, foram feitas observações adicionais de campo durante as visitas técnicas que permitiram detalhar, esclarecer e consolidar a compreensão dos métodos e estratégias adotadas.

As respostas ao questionário mostram que as empresas brasileiras são mais novas que a empresa alemã visitada, em termos de operação no mercado.

As empresas brasileiras realizam todas as etapas do processo galvânico, em razão de seus produtos necessitarem do pré-tratamento mecânico e químico, enquanto a empresa alemã realiza somente o desengraxe para limpar as peças.

O QUADRO 27 apresenta os aspectos mais amplos da gestão das empresas.

Com exceção da empresa D, as demais possuem um número pequeno de trabalhadores, cujo perfil profissional é assemelhado. Na Alemanha, há muitos trabalhadores imigrantes: portugueses, romenos, tchecos, italianos.

QUADRO 27 – COMPARAÇÃO DAS FORMAS DE GESTÃO

QUESITOS DO QUESTIONÁRIO	EMPRESA "A" Alemanha	EMPRESA "B" Brasil	EMPRESA "C" Brasil	EMPRESA "D" Brasil
Tempo de atuação no mercado	88 anos	60 anos	20 anos	25 anos
Etapas da produção	Desengraxe e eletrodeposição	Mecânico Decapagem Eletrodeposição	Mecânico Desengraxe Eletrodeposição	Mecânico Desengraxe Eletrodeposição
Produtos / Clientes	Automotivo Construção Cutelaria Casa da moeda	Automotivo Mobiliário decoração	Automotivo Ferroviário Alimentos	Automotivo pesado Acessórios para caminhões
Nº trabalhadores e turnos de trabalho	25 trabalhadores 3 turnos	11 trabalhadores 1 turno	24 trabalhadores 1 turno	122 trabalhadores 1 turno
Perfil dos trabalhadores da produção	25 a 55 anos Escolaridade básica	35 a 60 anos Escolaridade básica	25 a 45 anos Escolaridade básica	25 a 55 anos Escolaridade básica
Treinamentos e EPIs	Sim. Regular	Não. Irregular	Sim. Regular	Sim. Regular
Rotatividade dos trabalhadores	Permanência média de 7 anos	Permanência média de 5 anos	Permanência média de 5 anos	Permanência média de 5 anos

A empresa A trabalha de modo ininterrupto, ao passo que as empresas brasileiras operam somente em um turno de trabalho. Observou-se que as empresas se mantêm atentas quanto às condições de segurança e saúde dos trabalhadores, com exceção da empresa B, cujos equipamentos de proteção individual (EPIs) se encontram em mal estado de conservação. A baixa rotatividade dos trabalhadores nas empresas visitadas demonstra a estabilidade do quadro funcional.

A utilização de automação e semi-automação nos processos galvânicos garantem uniformidade nos revestimentos metálicos, ao mesmo tempo em que se reduz o arraste de eletrólitos entre os banhos e a ocorrência de respingos fora dos tanques. Também, ajusta os tempos dos banhos e permite uma condição de trabalho ergonômica para os funcionários.

Outros detalhes a respeito da gestão ambiental podem ser vistos no QUADRO 28.

A água de reuso é um indicador ambiental comum entre as empresas, o que mostra a importância de se economizar água, tão utilizada nas operações galvânicas.

Segundo a pesquisa de campo o reuso de água de processo nas empresas visitadas varia de 40 a 80% de seu volume inicial.

QUADRO 28 - COMPARAÇÃO DA GESTÃO AMBIENTAL

QUESITOS DO QUESTIONÁRIO	EMPRESA "A" Alemanha	EMPRESA "B" Brasil	EMPRESA "C" Brasil	EMPRESA "D" Brasil
Processo: automatizado, semi ou manufatura	Automatizado e semi-automatizado	Manufatura	Semi-automatizado	Automatizado e semi-automatizado
Certificação ambiental	ISO 9.001 e 14.001	Não	Não	Não
Sistema corporativo de gestão ambiental	Não	Não	Não	Sim
Indicadores ambientais utilizados	Água de reuso	Água de reuso	Água de reuso	Água de reuso e Recuperação de metais pesados
Banco de dados ambientais	Exames químicos	Exames químicos	Exames químicos	Exames químicos
Exigências ambientais para a galvanoplastia	Licenciamento ambiental	Licenciamento ambiental	Licenciamento ambiental	Licenciamento ambiental
Legislação ambiental é observada	Sim	Sim	Sim	Sim

O licenciamento ambiental foi pré-requisito citado como exigência preliminar para estabelecer uma empresa galvânica no Brasil e na Alemanha.

Apesar da manifestação comum do respeito à legislação, observou-se que na Alemanha este comportamento é espontâneo e no Brasil acontece por força de medidas punitivas do Poder Público.

O QUADRO 29 mostra as respostas obtidas a respeito da segurança e custos ambientais. A empresa D recebe assessoria técnica externa para a unidade de recuperação de metais pesados. Poucas informações foram obtidas neste setor por haver sigilo industrial dos processos.

QUADRO 29 – COMPARAÇÃO DA SEGURANÇA E CUSTOS AMBIENTAIS

QUESITOS DO QUESTIONÁRIO	EMPRESA "A" Alemanha	EMPRESA "B" Brasil	EMPRESA "C" Brasil	EMPRESA "D" Brasil
Periodicidade de inspeções/auditorias externas dos efluentes	-Bi ou trianual , automonitoramento com informação semestral ao órgão ambiental	- Aleatório, automonitoramento com informação trimestral à SEMA	- Aleatório, automonitoramento com informação trimestral à SEMA	- Aleatório, automonitoramento com informação trimestral à SEMA
Medidas de emergência para acidentes	Bacias de contenção, EPIs, chuveiros e lava-olhos	Bacias de contenção, EPIs, chuveiros e lava-olhos.	Bacias de contenção, EPIs, chuveiros e lava-olhos	Bacias de contenção, EPIs, chuveiros e lava-olhos.
Profissional contratado ou assessoria externa	Químico responsável	Químico responsável	Químico responsável	Assessoria externa e Químicos Resp.
Custos Estimados do tratamento dos resíduos	20% do custo total	25% do custo total	20% do custo total	30% do custo total

Os custos com tratamentos de efluentes foram maiores para a empresa D, devido à recuperação dos metais pesados. Certamente, este custo mais alto é compensado depois pelo reuso e pela comercialização dos metais pesados recuperados.

As boas práticas recomendáveis em galvanicas são mostradas no QUADRO 30.

QUADRO 30 – COMPARAÇÃO DOS TRATAMENTOS, REUSOS E CONTROLES AMBIENTAIS

QUESTITOS DO QUESTIONÁRIO	EMPRESA "A" Alemanha	EMPRESA "B" Brasil	EMPRESA "C" Brasil	EMPRESA "D" Brasil
-Redução de energia, matérias primas e resíduos; -Substituição de produtos perigosos	- Há eficiência energética; não recupera metais pesados do lodo. -Diretiva <i>Reach</i> : substituição do cromo	- Há preocupação em poupar as soluções de metais pesados nos banhos	- Há busca para redução de custos em geral na produção	- Há eficiência energética; substituiu o cianeto, recupera metais pesados do lodo próprio e de terceiros
Água de lavagem é reciclada	Reuso de 80%	Reuso de 40%	Reuso de 70%	Reuso de 80%
Manutenção do sistema de exaustão e lavador de gases. Periodicidade	Semestral	Desativado	Semestral	Semestral
Medição da concentração de vapores/gases no ambiente de trabalho e na atmosfera	-Ambiente de trabalho: sim -Atmosfera: não	-Ambiente de trabalho: sim -Atmosfera: não	-Ambiente de trabalho: sim -Atmosfera: não	-Ambiente de trabalho: sim -Atmosfera: não
Tipo de tratamento do efluente líquido	Químico e troca iônica. Os efluentes de diversos metais estão misturados.	Químico	Químico e troca iônica* * desativado	Separação dos efluentes por tipo de metal pesado e processo químico para recuperação.
Destino do lodo galvânico; há recuperação dos metais pesados?	Incinerado; não são recuperados os metais pesados devido ao alto custo.	Aterro industrial.	Aterro industrial.	Usina de recuperação de metais pesados; há reuso dos metais e sua comercialização.
Participação em associações de classe, institutos para pesquisas tecnológicas	Sim. <i>Zentralverband Oberflächentechnik – ZVO</i> (Central de Empresas de Tratamento de Superfície).	Sim. Associação Paranaense de Tratamento de Superfícies - APETS	Sim. Associação Paranaense de Tratamento de Superfícies - APETS	Sim. Associação Paranaense de Tratamento de Superfícies – APETS e Serviço Nacional da Indústria - SENAI

As empresas A e D se destacaram em eficiência de energia, substituição de insumos tóxicos, recuperação e reuso de materiais e rejeitos, enquanto as empresas B e C se manifestaram favoráveis às boas práticas, porém apontaram simplesmente medidas de ordem genérica.

Em todas as empresas avaliadas observou-se que são realizados os monitoramentos da qualidade do ar no ambiente de trabalho, porém nenhum monitoramento da atmosfera externa, na saída dos lavadores de gases.

O tratamento físico-químico e troca iônica permitem o reuso da água na empresa A. As empresas B e C, apesar de afirmarem que reusam a água, não possuem tratamento por troca iônica, o que coloca em dúvida a qualidade da água de reuso obtida. A empresa D não realiza troca iônica para qualificar a água de reuso, pois separa inicialmente as águas de lavagem por tipo de metal pesado, evitando sua mistura; o que permite a recuperação dos metais pesados e da água mais facilmente. Isto representa um grande avanço para viabilizar economicamente a recuperação e o reuso dos metais pesados.

Quanto ao lodo galvânico as empresas A, B e C o depositam em caçambas coletadas por empresas especializadas no tratamento final. Para a empresa A, foi dito que os lodos são encaminhados para incineração. A empresa D possui estratégia diferente quanto aos lodos, pois recupera metais pesados da pequena quantidade de lodo gerado e ainda recebem de empresas terceirizadas, sem custo, volumes de lodos galvânicos para procederem à recuperação dos metais pesados.

Todas as empresas participam de associações de classe, sendo que a empresa D relaciona-se com o SENAI-PR, por conta do desenvolvimento tecnológico para recuperação e reuso de metais pesados.

A comparação das informações obtidas nas empresas avaliadas apresenta uma perspectiva razoável da realidade das empresas galvânicas, em razão do caráter global da galvanoplastia como processo industrial. De acordo com Sillos (2016b) o estado da arte dos processos de galvanoplastia no Brasil segue o padrão internacional, seja de produtos, processos e equipamentos, devido à maioria dos fornecedores serem representantes de empresas americanas, alemãs e italianas. As formas de gestão da produção e dos controles ambientais, contudo, podem se diferenciar como mostram os resultados obtidos.

5.5 INCONFORMIDADES APRESENTADAS NAS EMPRESAS GALVÂNICAS AVALIADAS

De acordo com os critérios estabelecidos pela legislação de segurança e saúde no trabalho (normas regulamentadoras) e a legislações ambientais do Brasil e Alemanha adotados neste estudo, podem-se verificar as inconformidades nas empresas, conforme apresentadas no QUADRO 31.

QUADRO 31 – INCONFORMIDADES APRESENTADAS NAS GALVÂNICAS AVALIADAS

INCONFORMIDADES	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Gases e vapores no local de trabalho	Sim	Sim	Sim	Sim
EPIs sem manutenção, inadequados	Não	Sim	Não	Não
Sistema de exaustão inexistente	Não	Sim	Não	Não
Depósito de produtos químicos irregular	Não	Sim	Não	Não
Ordem e limpeza deve melhorar	Sim	Sim	Sim	Não
Arranjo físico inadequado	Não	Sim	Não	Não
Iluminação deficiente	Não	Sim	Não	Não
Ruídos excessivos	Não	Não	Não	Não
Posturas forçadas e repetitividade	Sim	Sim	Sim	Sim
Falta de controle de efluentes	Não	Não	Não	Não
Falta de controle de emissões	Sim	Sim	Sim	Sim

Com relação às inconformidades, observa-se que em todas as empresas visitadas foram detectadas a presença de gases e vapores nos locais de trabalho e a falta de controle das emissões.

Apesar da existência de sistemas coletores de gases e vapores na maioria das empresas, ainda remanesce nos locais de trabalho vapores dos banhos. Ademais, nenhuma das empresas realiza monitoramento na saída dos chaminés, por ocasião do lançamento das emissões para a atmosfera; limitando-se a tratar as emissões em lavadores de gases.

Posturas forçadas e repetitividade no trabalho também foram deficiências comuns entre as empresas pesquisadas, o que sugere a adoção de estudos de ergonomia para trazer mais conforto e eficiência operacional aos trabalhadores.

De modo geral, observa-se que a empresa B apresenta o maior número de inconformidades e a empresa D o menor número, enquanto as empresas A e C possuem o mesmo número de inconformidades.

5.6 RESULTADO DA AVALIAÇÃO SOBRE AS MEDIDAS DE PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO OBSERVADAS NAS EMPRESAS VISITADAS

As práticas consideradas recomendáveis, ou boas práticas, referem-se às medidas adotadas pelas empresas considerando os programas de prevenção da poluição.

Desta maneira, após o reconhecimento das empresas e de seus processos foi destacado no QUADRO 32 as medidas de prevenção da poluição encontradas.

QUADRO 32 – AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO OBSERVADAS

PRÁTICAS RECOMENDÁVEIS	Empresa A Alemanha	Empresa B Brasil	Empresa C Brasil	Empresa D Brasil
Automação dos banhos	Sim	Não	Não	Sim
Processos semi-automáticos	Sim	Não	Sim	Sim
Depósito de produtos químicos	Sim	Não	Sim	Sim
Banhos em cascata	Sim	Não	Sim	Sim
Separação dos efluentes por tipo de água de lavagem	Não	Não	Não	Sim
Abatimento do cromo VI nos efluentes separados por tipo de água de lavagem	Não	Não	Não	Sim
Recuperação de metais pesados	Não	Não	Não	Sim
Reuso de metais pesados	Não	Não	Não	Sim
Reuso de água	Sim	Sim	Sim	Sim
Substituição de insumos perigosos. (cianeto por gluconato)	Não	Não	Não	Sim
Disposição final do lodo adequada	Sim	Sim	Sim	Sim

Todas as empresas pesquisadas realizam a entrega do lodo galvânico para empresas especializadas que realizam a disposição final do lodo, exceto a empresa D que recupera de seu lodo e de outras galvânicas os metais pesados. A empresa D também substituiu cianeto de seus processos e realiza a separação das águas de lavagem que contém cromo VI.

A empresa C resolveu minimizar o depósito de produtos químicos para reduzir os riscos de acidentes ambientais, trabalhando com fornecedores de produtos químicos em um sistema similar ao *just in time*.

Os processos galvânicos das empresas A, C e D são contínuos, automáticos e semi-automáticos. A condição de continuidade da produção favorece a implantação dos banhos de lavagem em cascata, com fluxo de água em contra corrente, o que permite economia da água de lavagem.

Pode-se dizer que as empresas A e D se destacaram pela adoção de muitas práticas recomendáveis sob o ponto de vista da prevenção da poluição. Esta constatação mostra que a empresa brasileira pode equiparar-se às empresas alemãs, pelo fato de haver no Brasil acervo tecnológico e pessoal qualificado para implementar as melhores práticas em processos galvânicos.

5.7 ANÁLISE CRÍTICA DA NR 25 - RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Com base nos resultados obtidos com as visitas e análise da legislação pertinente foi possível propor a reforma da NR 25 – Resíduos Industriais, norma pertencente à Consolidação das Leis do Trabalho do Brasil (CLT).

A partir do estudo do setor galvânico do Brasil e da Alemanha, possíveis mudanças, melhorias e complementações da NR 25 puderam ser realizadas, especialmente nos controles sobre os processos produtivos e métodos de depuração dos resíduos industriais, destacando-se as boas práticas observadas nas empresas.

Inicialmente, foram avaliados os textos da NR 25, versões de 1978 e de 2011, confrontando seus avanços e retrocessos no período em questão.

O quadro comparativo (QUADRO 33) foi elaborado para apresentar as diferenças dos textos da NR 25, do ponto de vista da inspeção do trabalho e da gestão empresarial.

QUADRO 33 - COMPARAÇÃO DA NR 25, VERSÕES 1978 e 2011

Tópico	NR 25/1978	NR 25/2011	Diferenças da NR 25 de 2011 frente à de 1978
Conceito de resíduos industriais	Proibição de liberação de gases contaminantes no ambiente de trabalho acima dos limites de tolerância da NR 15.	<u>Define resíduo industrial</u> (sólido, líquido e gasoso) provenientes de processos industriais e de sistemas de controle de poluição, diferenciando-o de resíduo doméstico.	Define resíduo industrial, citando diversos tipos de sólidos; evita dúvidas da versão 1978 que se referia a lançamentos diretos e indiretos de gases e formas de energia.
Controle de resíduos industriais	Aprovação dos mecanismos de controle do ar no local de trabalho pelo MTE, por meio de amostragens.	Adoção de melhores práticas para <u>reduzir a geração de resíduos</u> .	Apresenta a redução da geração de resíduos como alternativa para o controle da poluição, porém não apresenta as metodologias.
Padrões ambientais no local de trabalho	NR 15 estabelece critérios para análise do ar.	Destinação adequada, proibido lançar ou liberar no ambiente de trabalho que comprometam a <u>saúde / segurança do trabalhador</u>	Refere-se à saúde e segurança dos trabalhadores, porém não cita textualmente a NR 15.
Padrões ambientais fora da empresa	Emissões de contaminantes na atmosfera externa estão sujeitas às leis ambientais.	Exame e aprovação de <u>órgãos competentes</u> quanto à medição, métodos, equipamentos, dispositivos controle de lançamento ou liberação de contaminantes.	Enfatiza a competência de outros órgãos e entidades para supervisionar os resíduos.
Destinação dos resíduos industriais	Líquidos e sólidos devem ser tratados ou retirados da indústria. <u>Proibida armazenagem de contaminantes</u> .	Líquidos e sólidos devem ter coleta, <u>armazenagem</u> , transporte e disposição final adequada pela empresa.	Abre possibilidade de armazenagem permanente resíduos líquidos e sólidos na empresa.
Lançamento de resíduos industriais no meio ambiente	Lançamento e disposição de líquidos e sólidos em <u>solo e água estão sujeitos às leis ambientais</u> .	nada consta	Não expressa o caráter infracional de lançamentos irregulares de resíduos sólidos e líquidos, em corpos hídricos e no solo.
Riscos à saúde dos trabalhadores	nada consta	Evitar <u>riscos à segurança e saúde dos trabalhadores que manipulem</u> os resíduos líquidos e sólidos.	Enfatiza a necessidade de evitar riscos à saúde dos trabalhadores que manipulam resíduos.
Resíduos perigosos e entidades externas	Resíduos perigosos, de alta toxicidade, biológicos e radioativos devem ser dispostos com o apoio e auxílio de entidades especializadas.	Sólidos e líquidos de alta toxicidade e periculosidade devem ser dispostos com supervisão de entidades especializadas ou públicas: CNEN; leis sanitárias e ambientais.	Não ocorreram alterações.
Capacitação de trabalhador envolvido com resíduos	nada consta	<u>Capacitação continuada</u> para trabalhadores que operem resíduos indústrias sobre prevenção e controle de riscos.	Exige capacitação continuada dos trabalhadores que operem os resíduos, desde a coleta até a disposição final.
Poder de autuação da fiscalização	Possui três artigos passíveis de autuação, tipificação de segurança.	Possui nove artigos passíveis de autuação, tipificação de segurança.	Amplia em 300% a possibilidade de autuações.

A versão da NR 25 de 2011 trouxe mais possibilidades de gestão sobre os resíduos, contudo a norma se manteve ainda na condição de indicadora de preceitos. A partir de seus aspectos positivos, pode-se obter uma nova norma orientada para a gestão dos resíduos, utilizando os programas da redução na geração de resíduos, cujos conceitos devem ser explicitados, compreendidos e aplicados cotidianamente no “chão de fábrica”.

Os conceitos de produção limpa e produção mais limpa foram introduzidos na proposta da revisão para substituir as tradicionais técnicas de fim de tubo. Alguns empresários habituados a produzir sem economicidade e maiores controles ambientais, apenas a depuração ao final do processo, poderão rever suas estratégias frente ao empreendimento, adotando outra visão produtiva que lhes tragam maiores ganhos econômicos associados aos ganhos ambientais.

Em razão da necessidade de revisão da NR 25 ser aplicável a qualquer tipo de indústria, os parâmetros da NR 15 – Atividades e Operações Insalubres, poderão ser atualizados e confrontados com os parâmetros da legislação pertinente brasileira e alemã.

O estudo realizado no ramo da galvanoplastia buscou contribuir com outros elementos na revisão da NR 25, considerando as experiências da galvanoplastia na Alemanha e no Brasil, notadamente as boas práticas e novos conceitos de gerenciamento ambiental.

Com o objetivo de encaminhar às esferas normativas proposição para um novo instrumento de gestão ambiental e que possibilite sua inspeção pela auditoria fiscal do trabalho, será uma contribuição para tornar o meio ambiente cada vez mais protegido.

O texto da NR 25/1978 demonstra a intenção do legislador de regular somente o ambiente de trabalho e não o meio ambiente externo à empresa, bem como proteger exclusivamente a saúde do trabalhador.

Nesta primeira versão o legislador reconheceu a geração de resíduos industriais como consequência natural do processo produtivo e não recomendou alternativa alguma aos empresários para incentivar a redução ou a eliminação dos resíduos. Basicamente, os controles de resíduos obedecem às tecnologias de fim de tubo, que operam filtros, estações de tratamento e realizam a disposição final dos resíduos em aterros industriais.

O controle dos resíduos nos locais de trabalho era feito respeitando os limites de tolerância da NR 15 – Atividades e Operações Insalubres. Se estes limites fossem observados seria possível a coexistência de operários e poluentes nos locais de trabalho. Semelhantemente, pela ótica ambiental, nesta forma de gestão da produção, a geração de resíduos é aceita em quaisquer quantidades, pois ao final das etapas e processos produtivos aplicavam-se os meios saneadores, que via de regra atendiam minimamente a legislação ambiental.

A NR 25, versão de 2011, conceitua os resíduos industriais como gasosos, líquidos e sólidos, provenientes de processos industriais ou processos de controle da poluição. O conceito diferencia-se do entendimento dado pela legislação ambiental brasileira de que resíduos se referem somente aos sólidos, cuja regulação é dada pela Lei 12.305 de 02/08/2010 e Decreto 7.404 de 23/12/2010. Portanto, as legislações das Águas e das Emissões Atmosféricas, apresentadas na revisão da literatura, devem ser levadas em conta na NR 25/2011.

A NR 25 de 2011 trouxe maior possibilidade aos empresários para adoção de métodos mais modernos de controle da poluição ambiental, considerando a redução da geração de resíduos. Menores impactos sobre o meio laboral e sobre o meio ambiente, decorrem da menor geração de resíduos industriais. Para isto, as empresas devem trabalhar com critérios de economia e melhor uso dos diversos insumos, bem como pela substituição daqueles tóxicos, pelo reuso e reciclagem dos resíduos gerados na linha de produção.

Portanto, a versão vigente da NR 25 possibilita outra percepção quanto aos resíduos. Prevenir a poluição em sua origem é mais interessante e estratégico, tanto para a higiene do trabalho quanto para o ambiente externo às instalações industriais. As empresas têm a possibilidade de adotar uma gestão ambiental holística, transparente e responsável, de acordo com sua capacidade de investimentos, motivação e oportunidade para fazê-lo. A NR 25 de 2011 incentiva a adoção dessas metodologias, porém não aponta qual deve ser a escolha.

A dinâmica da elaboração ou revisão de normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho é tripartite e deverá ser discutida por bancadas especializadas no tema, durante alguns meses, além de passar por consulta pública. Não obstante a NR 25 atual possuir uma redação sucinta no conjunto das demais normas regulamentadoras - NRs, sua importância é fundamental não

somente para a saúde e segurança de trabalhadores, mas também para a sociedade como um todo.

Assim apresenta-se um texto propositivo inicial para introduzir os princípios e sugestões para uma nova NR 25. O ponto de partida é sua articulação com outras NRs, que possuem formato de programas gerenciais, como é o caso da NR 7 (BRASIL, 1994) que trata do Controle da Saúde Ocupacional e da NR 9 (BRASIL, 1994) que se refere à Prevenção dos Riscos Ambientais.

A revisão dos parâmetros físico-químicos da NR 15 que se refere às atividades insalubres é algo necessário, em razão da evolução da higiene industrial no cenário internacional. A NR 15, editada em 1978, é suporte das demais normas regulamentadoras, pois estabelece os parâmetros físico-químicos e biológicos dos ambientes de trabalho das empresas. Por isso é oportuno atualizá-la juntamente com a NR 25.

A constituição de um sistema de gestão ambiental que seja suficientemente abrangente, integrado e efetivo é o resultado que se espera das ações previstas na NR 7, NR 9, NR 15 e NR 25.

A implantação de um sistema de gestão que articule e dialogue sobre questões relativas ao controle da saúde, da prevenção de riscos ambientais, do estabelecimento de novos parâmetros de insalubridade e contaminação do meio ambiente, bem como da redução e controle de resíduos industriais, permitirá às empresas conduzir suas operações com sustentabilidade.

5.8 PROPOSTA DE REFORMULAÇÃO DA NR 25

O texto preliminar da nova NR 25 a ser submetido às bancadas tripartites de revisão de normas do MTE poderá denominar-se “Programa de Redução de Resíduos Industriais”, e apresenta-se abaixo com artigos e parágrafos propostos, sublinhados, para se diferenciarem dos artigos vigentes da NR 25 (BRASIL, 2011) que serão mantidos na revisão.

25.1 Entende-se, para fins desta norma:

a) resíduos industriais, como aqueles provenientes dos processos industriais, na forma sólida, líquida ou gasosa ou combinação dessas, e que por suas características físicas, químicas ou

microbiológicas não se assemelham aos resíduos domésticos, como cinzas, lodos, óleos, materiais alcalinos ou ácidos, escórias, poeiras, borras, substâncias lixiviadas e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como demais efluentes líquidos e emissões gasosas contaminantes atmosféricas.

b) tecnologia de fim de tubo, como os meios utilizados para depurar, neutralizar ou reduzir os impactos ambientais negativos dos resíduos industriais gerados nos processos produtivos. São constituídos por filtros, decantadores, aeradores, lavadores e estações de tratamento físico-químico-biológicos.

c) programa de prevenção da poluição ou de produção mais limpa como a aplicação contínua de estratégias econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, visando aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, pela não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados.

d) programa de produção limpa como aquele que questiona a real necessidade de um produto, observando como esta necessidade poderia ser mais bem satisfeita ou reduzida; promove a redução ou economia do uso de materiais, água e energia e admitindo a necessidade de participação pública na tomada de decisão política e econômica.

e) ecologia industrial como o estabelecimento de uma rede de empresas que mantém fluxos de trocas para atendimento de demandas industriais complementares envolvendo matérias-primas, resíduos industriais, materiais recicláveis e energia, aproveitando sinergias entre as empresas.

f) consumo sustentável como um estágio de desenvolvimento ambiental mais avançado da produção e da sociedade onde as tecnologias são limpas, não geradoras de resíduos e de poluição; com aproveitamento máximo de insumos, água e energia, reciclagem, reuso de materiais e consumo consciente.

25.2 A empresa deve sempre priorizar a redução da geração de resíduos por meio da adoção das melhores práticas tecnológicas e organizacionais, observando os programas de produção mais limpa, de produção limpa, de ecologia industrial visando o consumo sustentável.

25.2.1 As tecnologias de fim de tubo deverão ser consideradas apenas como ferramentas iniciais para prevenir a poluição nos locais de trabalho e no meio ambiente.

25.3 A empresa deve implantar e operacionalizar o Programa de Redução de Resíduos Industriais – PRRI, cuja metodologia tem como princípio fundamental a eliminação de resíduos da produção, que será alcançado por meio da racionalidade no uso de insumos, da substituição de matérias primas tóxicas e perigosas, do reuso e reciclagem de rejeitos e outros materiais.

25.3.1 Os critérios a serem observados na elaboração do PRRI são:

25.3.2 Reconhecimento do processo produtivo envolvendo:

- insumos utilizados: toxicidade, volumes, massas, vazões e pressões de trabalho.
- máquinas e equipamentos: características técnicas, riscos operacionais.
- arranjos físicos: adequação ao edifício industrial e flexibilidades possíveis.

- resíduos gerados: toxicidade, volumes, massas, vazões, temperaturas e pressões de saída.
- sistemas de tratamento de resíduos existentes: características técnicas, eficiência e restrições.
- programa de manutenção de máquinas, equipamentos e estações de tratamento.
- trabalhadores envolvidos nos processos e respectivas qualificações profissionais.

25.3.3 Identificação de exigências relativas à legislação ambiental:

- licenças ambientais: de construção, de instalação e de operação.
- monitoramentos ambientais: inventário e atualização de informações.
- responsáveis técnicos ambientais ou empresas de assessoria em meio ambiente contratados.
- equipamentos, insumos laboratoriais e métodos para automonitoramento aplicados.
- aspectos prioritários da legislação: padrões ambientais, exigências e recomendações.

25.3.4 Avaliação de tecnologias existentes no mercado para efetivar os programas do item

25.2, visando:

- a) redução da utilização de insumos em geral.
- b) redução da utilização de insumos tóxicos.
- c) substituição de insumos tóxicos por insumos não tóxicos.
- d) redução de rejeitos e resíduos industriais.
- e) recuperação de insumos a partir de rejeitos e resíduos.
- f) reuso e reciclagem de materiais.
- g) eficiência de energia.

25.3.5 A empresa poderá realizar estudo econômico-financeiro para implantação gradual dos programas apresentados no item 25.2.

25.3.6 Sindicatos patronais, universidades, sistema S, empresas de assessoria ambiental poderão auxiliar as empresas industriais a elaborar e implantar o PRRI.

25.3.6.1 A responsabilidade pela qualidade do PRRI recai sobre os responsáveis técnicos que elaboraram o programa, enquanto a responsabilidade pela sua implementação cabe aos sócios e proprietários da empresa.

25.4 Da operacionalização do PRRI

25.4.1 Caberá aos sócios e proprietários da empresa indicar os membros do comitê gestor do PRRI, cuja representação deve alcançar os diferentes setores e departamentos da empresa, priorizando aqueles com maior geração de resíduos industriais.

25.4.1.1 Os membros do comitê gestor do PRRI, antes de iniciar a gestão bianual, deverão receber capacitação quanto aos programas e técnicas de prevenção da poluição e serem assessorados, quando necessário, por profissional qualificado para tratar de questões relacionadas ao meio ambiente, segurança e saúde no trabalho.

25.4.1.2 Compete ao Comitê Gestor do PRRI, com base nos estudos e levantamentos previstos no item 25.3.1:

- a) estabelecer metas periódicas para redução de consumo de insumos.
- b) definir estratégias voltadas ao reuso e reciclagem.
- c) promover a substituição de insumos tóxicos, no curto e médio prazo.

- d) acompanhar a efetividade dos programas de manutenção.
- e) avaliar a eficiência dos sistemas vigentes de filtração, tratamentos e disposição de resíduos.
- f) integrar o PRRI com outros sistemas de gestão ambiental existentes na empresa.
- g) propor regras contratuais para empresas terceirizadas e prestadores de serviço, quanto aos objetivos do PRRI.
- h) estabelecer relação institucional com entidades e órgãos especializados em materiais tóxicos e perigosos.
- i) avaliar as condições de armazenagem de insumos químicos perigosos.
- j) avaliar a segurança nas operações de armazenagem temporária, transporte e deposição final de resíduos.

25.4.1.3 O comitê gestor tem a responsabilidade única de apoiar a implementação das ações previstas no PRRI.

25.4.2 O Programa de Redução de Resíduos Industriais deverá estar articulado com o PPRA e PCMSO, visando sistematizar ações e potencializar resultados. A articulação prevista deve ocorrer por meio de:

- a) planejamentos anuais.
- b) cronogramas de ação anuais.
- c) reuniões periódicas mensais.
- d) avaliação e divulgação conjunta de resultados anuais do PRRI, PPRA e PCMSO.
- e) intercâmbio do comitê gestor do PRRI com a CIPA, comitê de ergonomia e comissão de fábrica.
- f) implantação de banco de idéias na empresa sobre redução de resíduos para permitir a participação de todos.
- g) promover na cadeia produtiva da indústria mecanismos visando:
 - g.1) fortalecimento da logística reversa.
 - g.2) estudo para simplificação da embalagem de seus produtos.
 - g.3) adoção de conceitos de ecodesign e ecoeficiência.
 - g.4) criação de fórum para discussões técnicas, deliberação sobre metas, estratégias de ação e avaliação de resultados.

25.5 As empresas que demonstrem efetivo controle dos resíduos industriais e evolução nos programas de redução resíduos poderão compor a lista das empresas comprometidas com o meio ambiente, a ser divulgado anualmente pelo MTE.

25.5.1 O processo de indicação e seleção das empresas para fins do item 25.5, será feito com a participação dos sindicatos representativos, universidades, órgãos especializados e comitês gestores do PRRI.

25.5.2 Os casos bem sucedidos poderão ser divulgados, a título de boas práticas ambientais, em literatura técnica e relatórios oficiais do governo.

25.5.3 O Ministério do Trabalho, o Ministério do Meio Ambiente em conjunto com órgãos ambientais regionais poderão dispor novos instrumentos para valorizarem as ações de sucesso dirigidas à redução de resíduos industriais.

25.6 Do controle dos resíduos existentes

25.6.1 Os resíduos industriais devem ter destino adequado, sendo proibido o lançamento ou a liberação de contaminantes no ambiente de trabalho que possam comprometer a segurança e a saúde dos trabalhadores, bem como o lançamento ou a liberação no meio ambiente em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos pela legislação ambiental pertinente.

25.6.1.1 Constatado o desrespeito ao item 25.6.1 fica configurada a condição de grave e iminente risco, passível de imediata interdição das atividades produtivas.

25.6.2 As medidas, métodos, equipamentos ou dispositivos de controle do lançamento ou liberação dos contaminantes gasosos, líquidos e sólidos devem ser submetidos ao exame e à aprovação dos órgãos competentes.

25.6.3 Os resíduos líquidos e sólidos produzidos por processos e operações industriais devem ser adequadamente coletados, acondicionados, armazenados, transportados e encaminhados à adequada disposição final pela empresa.

25.6.3.1 Em cada uma das etapas citadas no subitem 25.6.3 a empresa deve desenvolver ações de controle, de forma a evitar risco à segurança e saúde dos trabalhadores.

25.6.4 Os resíduos sólidos e líquidos de alta toxicidade e periculosidade devem ser dispostos com o conhecimento, aquiescência e auxílio de entidades especializadas/públicas e no campo de sua competência.

25.6.4.1 Os rejeitos radioativos devem ser dispostos conforme legislação específica da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

25.6.4.2 Os resíduos de risco biológico devem ser dispostos conforme previsto nas legislações sanitária e ambiental.

25.7 Os trabalhadores diretamente envolvidos na coleta, manipulação, acondicionamento, armazenagem, transporte e disposição final de resíduo devem receber gratuitamente capacitação continuada sobre realização do trabalho de modo seguro e saudável, bem como receber equipamentos de proteção individual (EPI), ferramentas ergonômicas e equipamentos para movimentação de carga.

25.8 Esta Norma Regulamentadora disponibilizará informações técnicas, legais e ambientais para os diferentes tipos de indústria, explicitando padrões ambientais relevantes e demais exigências sobre resíduos industriais, a partir das legislações ambiental federal e estaduais.

A proposta para uma nova NR 25 implicará no envolvimento dos auditores fiscais do trabalho em temas do ambiente de trabalho e dos seus desdobramentos sobre o meio ambiente. Passadas as etapas de revisão da NR25 e capacitação dos

auditores fiscais será interessante implantar nas superintendências regionais do trabalho (SRTs) de cada Estado, programas específicos de fiscalização para as indústrias químicas com potencial contaminante, estipulando metas trimestrais, semestrais e anuais a serem alcançadas.

De acordo com a OIT (1993) os acidentes do trabalho que ocorrem em instalações industriais cujos efeitos são sentidos além dos limites da empresa, em razão de sinergias de produtos químicos utilizados nos processos produtivos, trazendo externalidades negativas para o meio ambiente e para a comunidade são classificados como “acidentes industriais maiores ou ampliados”. Por consequência lesões, doenças e contaminações ambientais, atingem a todos: trabalhadores, residentes, firmas próximas, fauna, flora, solos, ar e água.

De igual modo, as contaminações ambientais decorrentes da má gestão sobre os resíduos industriais que ocorrem, quase sempre, de modo contínuo e sorrateiro podem ser equiparadas aos “acidentes ampliados” em termos de seus efeitos deletérios.

O Ministério do Trabalho vem desenvolvendo há algum tempo ações voltadas aos acidentes ampliados, por meio de um grupo de auditores que estudam o tema. Com a proposta de revisão da NR 25, os AFTs que se dedicam aos “acidentes industriais maiores” poderão colaborar na revisão da norma incorporando visões e experiências que obtiveram junto às indústrias químicas brasileiras, assim como poderão auxiliar na capacitação e atuação dos auditores na questão dos resíduos industriais.

6 CONCLUSÃO

Com este estudo foi possível observar que a lei brasileira tem maior generalidade e muitas lacunas na definição de parâmetros ambientais o que dificulta a implantação de uma política ambiental homogênea para o território nacional em relação à legislação alemã.

A legislação alemã é bastante extensa e complexa. Os parâmetros ambientais dos efluentes, muito detalhados e específicos para 57 atividades industriais, regulamentam as condições de lançamentos dos efluentes galvânicos. Em contrapartida, quanto às emissões, o governo federal definiu basicamente os parâmetros de emissão para indústrias potencialmente poluidoras, que utilizam processos de combustão. As empresas galvânicas alemãs ficaram sem parâmetros de emissão próprios e específicos. Parte desta lacuna deverá ser suprida pelas diretivas européias que definem padrões de emissão.

O Brasil, por outro lado, apresenta em sua legislação federal parâmetros gerais para seus efluentes, não considerando as características próprias de cada efluente industrial. Quanto às emissões, somente dois Estados (São Paulo e Paraná) possuem padrões de emissão para atividades galvânicas. Em Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH) propôs a adoção de parâmetros ambientais da NR 15, conhecida por ser normativa aplicada aos ambientes de trabalho.

As visitas realizadas em galvânicas na Alemanha e no Brasil permitiram verificar que há poucas discrepâncias tecnológicas, pois o Brasil possui empresas galvânicas equiparáveis à alemã, com processos sofisticados de recuperação de metais pesados a partir das águas de lavagem e de lodos galvânicos, bem como a substituição de substâncias tóxicas como o cianeto por gluconato, o que demonstra capacidade técnica no controle de efluentes.

Outros bons resultados encontrados na maioria das empresas galvânicas visitadas foram o controle dos banhos de lavagem, quanto ao escoamento correto das peças para redução de respingos, o sistema de aproveitamento de água de lavagem em cascata e em contra corrente, o reuso das águas de lavagem após o tratamento físico-químico seguido de troca iônica e a utilização de processos automáticos e semi-automáticos. O reuso e comercialização de metais pesados e a

organização dos depósitos de produtos químicos foram outras boas medidas encontradas.

A ausência de controle das emissões após os lavadores de gases foi observada nas empresas visitadas no Brasil e na Alemanha, o que coloca em dúvida o automonitoramento ambiental praticado pelas empresas brasileiras.

Considerando a legislação analisada, a tecnologia observada e os controles ambientais existentes foi proposta uma revisão da NR 25 baseada nas avaliações realizadas na Alemanha e no Brasil, procurou introduzir na legislação trabalhista correlata à questão ambiental (NR 25) visando a não geração de resíduos e consequentemente a prevenção da poluição.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

A NR 25 – Resíduos Industriais deve transformar-se em um programa de gestão ambiental, integrado com o PPRA e o PCMSO. O Brasil possui muitas empresas que desconhecem completamente as ferramentas necessárias para uma efetiva condução de questões ambientais. Assim, os programas de prevenção da poluição, produção mais limpa e produção limpa são instrumentos importantes que devem ser incorporados nas práticas ambientalistas das empresas por meio da NR 25. Produzir com a mínima geração de resíduos é um modo inteligente de sustentar a empresa e prevenir a poluição. A melhoria contínua dos processos de produção passa pela redução da geração de resíduos, pela recuperação, reuso e reciclagem de materiais, pela eficiência de energia e por produtos que demandem menos energia e materialidade, entre outros.

Neste sentido, a proposta de revisão da NR 25 será muito útil para as micro, pequenas e médias empresas, que hoje, por exemplo, trabalham com a visão de fim de tubo.

A auditoria federal do trabalho, que está diariamente em contato com as empresas, poderá complementar de maneira eficaz a ação do Poder Público para a proteção do meio ambiente. Em parceria com outros órgãos e profissionais, o Ministério do Trabalho poderá por meio da proposta da NR 25, contribuir para a mudança de mentalidade ambiental dos brasileiros.

Empresários, trabalhadores e sociedade como um todo têm muito a ganhar com esta proposta da NR 25, pois seus princípios gerais serão a eficiência da produção, o consumo adequado de insumos, a sustentabilidade e a educação ambiental.

Esta norma hoje, pouco aplicada, após sua revisão permitirá ao corpo de auditores fiscais avaliar questões de ambiente de trabalho e de meio ambiente com maior propriedade e de forma integrada.

As autoridades do Ministério do Trabalho devem tomar conhecimento da necessidade de revisão da NR 25. Em momento posterior, a Escola Nacional de Inspeção do Trabalho (ENIT) deverá capacitar os auditores fiscais do trabalho sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ALFACONNECTION. Disponível em:

<<http://alfaconnection.pro.br/images/FQM030205a.gif>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

ANDREOLI, C.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodos de Esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG; Cia de Saneamento do Paraná, 2001.

ARAUJO, E. S.; HIDALGA, V.; GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: um Pouco de História**. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art2.htm>>. Acesso em: 15 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUM). **A Nova Política de Substância Químicas da União Européia**. Disponível em: <http://canais.abiquim.org.br/reach/inf_gerais.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2015.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BAUMBACH, G. **Air Quality Control**. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 1996.

BELLOVI, M. B. **Seguridad en el Trabajo**. 2ª ed. Madri: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en El Trabajo, 1996.

BORCHARDT, K. D. **O ABC do Direito Comunitário**. Luxemburgo: Publicações Oficiais das Comunidades Européias, 2000.

BORGIO, S. C. **Minimização e Reciclagem de Lodo Galvânico e Poeira de Jateamento**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. **Ciência Ambiental: Terra, um Planeta Vivo**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição**: República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

_____. Lei 9.433 de 8 jan.1997. **Lei das Águas**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 18 fev. 2016.

_____. Norma Regulamentadora nº 15 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Atividades e Operações Insalubres. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 junho1978.

_____. Norma Regulamentadora nº 25 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Resíduos Industriais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 junho 1978 e republicada em 08 de agosto de 2011.

_____. Norma Regulamentadora nº 17 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Ergonomia. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 junho 1978.

_____. Norma Regulamentadora nº 28 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Infrações e Penalidades. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 de julho de 1992.

_____. Norma Regulamentadora nº 07 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dezembro 1994.

_____. Norma Regulamentadora nº 9 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Prevenção de Riscos Ambientais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dezembro 1994.

_____. Norma Regulamentadora nº 06 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Equipamentos de Proteção Individual. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 junho 2001.

_____. Norma Regulamentadora nº 10 da Consolidação das Leis do Trabalho, que dispõe sobre Segurança em Eletricidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 dezembro 2004.

BRITO FILHO, D. **Toxicologia Humana e Geral**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria Atheneu, 1988.

BROWN, L.S.; HOLME, T.A. **Química Geral Aplicada à Engenharia**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

BUZZONI, H.A. **Galvanoplastia**. 2ª ed. São Paulo: Ícone Editora, 1991.

CAMPOS, A.; TAVARES, J.C.; LIMA, V. **Prevenção e Controle de Risco em Máquinas, Equipamentos e Instalações**. 5ª Ed. São Paulo: Editora SENAC, 2011.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE (CPRH). **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização: Tipologia Galvânica**. Pernambuco: Projeto CPRH/GTZ, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Galvânicas: práticas operacionais recomendáveis**, 2016. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 15 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 005/1989**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 357/2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 430/2011**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

CRITTENDEN, B.; KOLACZKOWSKI, S. **Waste Minimization: A Practical Guide**. Reino Unido: ICE, 1995.

DEUTSCHLAND. **Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**, 1996.

_____. **Verordnung über Anforderungen an das Einleiten Von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV)**, 1997.

_____. **Technische Regeln für Gefahrstoffe Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900/2006)**. Disponível em:

<http://www.umwelt-online.de/regelwerk/t_regeln/trgs/trgs900/mak_ges.htm> Acesso em: 20 mar. 2016.

_____. **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**, 2009.

_____. **Umweltrecht: Wichtige Gesetze und Verordnungen zum Schutz der Umwelt.. 25ª Auflage**, 2015.

DETTINGER, Horst. **ZEH Metallveredelungs GmbH**. Stuttgart. Informação verbal obtida em 20 fev. 2016.

FERMAC. **Processo Térmico de Cementação**. Disponível em: <<http://tratamentotermico.com/cementacao.html>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

FOSFERTIL. **Justificativas Técnicas para Alterações do Parâmetro Cianeto**. Disponível em:

<www.mma.gov.br/port/conama/processos/DD773F47/PropCianeto357_Fosfertil.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016.

FRITSCH, H.; HÄRBELE, G.; HÄRBELE, H.; HEINZ, E.; KÜRBISS, B.; PAUL, C.D. **Fachwissen Umwelttechnik**. Deutschland: Verlag Europa-Lehrmittel, 2015.

GAIDA, B. **Einführung in die Galvanotechnik**. Deutschland: Leuze Verlag, 1999.

GAUTO, M.; ROSA, G. **Química Industrial** – Porto Alegre: Bookman, 2013.

GREENPEACE. **Produção Limpa**. Disponível em:

<<http://teclim.ufba.br/jsf/produção/greenpeace%20prolimpa.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

HOINKIS, J. **Chemie für Ingenieure**. Deutschland: Wiley-VCH, 2015.

IGNATOWITZ, E.; FASTERT, G. **Chemietechnik**. Deutschland: Verlag Europa-Lehrmittel, 2015.

INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS (ICZ). **Manual Técnico do Aço Inoxidável**, 2011. Disponível em <<http://www.kloecknermetals.com.br/pdf3.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

KIPERSTOK, A.; COELHO, A.; TORRES, E. A.; MEIRA, C. C.; BRADLEY, S.P.; ROSEN, M. **Prevenção da Poluição**. SENAI/DN: Brasília, 2002.

KLOEPFER, M. **Sobre o Futuro Código Ambiental na Alemanha**. Direitos Fundamentais & Justiça nº 10, Jan/Mar, 2010. Disponível em: <http://www.dfj.inf.br/Arquivos/PDF_Livre/10_Dout_Estrangeira_3.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015.

MACHADO, C. **Riscos Respiratórios nos Trabalhos em Cabines de Pintura**. Disponível em <<http://www.protecaoespiratoria.com/riscos-respiratorios>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

MAGARIFUCHI, A.; LIMA, A.; SANCHEZ, C.; PIVOTTO, C.; OLIVEIRA, D.I.; WATANABE, E.; FERRIELLO, F.; CARDOSO, G.; FERREIRA, J.; MONTEIRO, J.; SILVA, L.; MORENO, M.; VIANA, M.; ALGUIN, P. S.; VAZ, R.; SILVA, U.; COELHO JR, U.; LAUAND, V.; CHAVES, W. **Manual de Segurança e Saúde da Indústria de Galvanoplastia**. São Paulo: SESI, 2007.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2011.

METÁLICA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Passivação**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/camada-passiva-a-responsavel-pela-notavel-resistencia-a-corrosao-do-aco-inoxidavel>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: Coleta Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. São Paulo: Fatec, 2011.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Convenção 174: Acidentes Maiores**. Genebra, 1993.

PACHECO, J. W. F. **Produção mais Limpa**. São Paulo: CETESB, 2005.

PARANÁ. SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 16/2014**. Disponível em: <<http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=117128&codItemAto=781629>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

PAWLOWSKY, U. **Reaproveitamento de Resíduos Industriais**. SUREHMA: Curitiba, 1983.

PETRY, E. V. **Ventilação Local Exaustora para Galvanoplastia**. Revista Técnica Tratamento de Superfície, nº 198. São Paulo: Associação Brasileira de Tratamento de Superfície (ABTS), 2016.

PHALEN, R. F.; PHALEN, R. N. **Introduction to Air Pollution Science: A Public Health Perspective**. USA: Jones & Barlett Learning, 2013.

PHILLIPI JR, A.; ROMERO, M.A.; BRUNA, G.C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

SALIBA, T. M. **Curso Básico de Segurança e Higiene Ocupacional**. São Paulo: Editora LTr, 2004.

SANDERQUÍMICO. **Tingimento Galvânico**. Disponível em :
< <https://pt.slideshare.net/sanderquimico/processos-galvanicos>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

SANTANA, E.; CUNHA, K. B.; FERREIRA, A. L.; ZAMBONI, A. **Padrões de Qualidade do Ar: Experiência comparada Brasil, EUA e União Européia**. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012.

SCHENELLE JR, K. B.; BROWN, C. A. **Air Pollution Control Technology Handbook**. Florida: CRC Press, 2002.

SHREVE, R. N.; BRINK JR, J. A. **Indústrias de Processos Químicos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

SILLOS, R. M. **Manual Técnico: Tratamento de Superfícies**. 3ª Ed. São Bernardo do Campo: SurTec do Brasil, 2009a.

SILLOS, R. M. **Associação Brasileira de Tratamento de Superfície (ABTS)**. Stuttgart. Informação recebida por e-mail em 22 fev. 2016b.

SILVA, C. S. **Um Estudo Crítico sobre a Saúde dos Trabalhadores de Galvânicas**, por meio das Relações entre as Avaliações Ambientais, Biológicas e Otorrinolaringológicas. São Paulo: Fundacentro, 1999a.

SILVA, V. G. **Comentários à Legislação Ambiental**. Brasília: Editora Ambiental, 1999b.

SOBRINHO, F. V. **Ventilação Local Exaustora em Galvanoplastia**. São Paulo: Fundacentro, 2002.

TOCCHETTO, M. R. L.. **Implantação de Gestão Ambiental em Grandes Empresas com Atividade Galvânica no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

UNITED NATIONS FOR INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO). **Produção mais limpa**. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos09/306_306_PMaist_conceitos_e_definicoes_metodologias.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

VALENZUELA, J. **Tratamento de Efluentes em Indústrias Galvânicas**. 2ª ed. São Paulo: Editora Páginas e Letras, 2008.

VAN BERKEL, R. **Cleaner production and eco-efficiency initiatives in Western Australia 1996-2004**. Journal Cleaner Production. Volume 15, Issues 8–9 p. 741–755. 2007.

WINKEL, J. **História da Galvanoplastia no Brasil**. São Paulo: Andreato Comunicação e Cultura, 2006.

ZEMPULSKI, L. N.; ZEMPULSKI, M. F. S. **Dossiê Técnico: Galvanização Eletrolítica**. Curitiba: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.

ANEXOS

ANEXO 1 - PADRÕES DE EMISSÃO PARA FORNOS DE GRANDE ESCALA NA ALEMANHA

Combustível	Combustíveis sólidos					Combustíveis líquidos			Comb. Gasoso	
Capacidade Instalada em MW	50 a 100	100 a 300	> de 300	Até 300	> de 50	50 a 100	100 a 300	> de 300	100 a 300	> de 300
Característica do forno				Berço fluidizado	Controle/escória					
Poluente em mg/m ³										
Material particulado	50	50	50	50	50	50	50	50	5 (a)	5 (a)
Arsênico, chumbo, cádmio, cromo, cobalto, níquel e compostos particulados, total (b)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2 (c)	2 (c)	2 (c)	-	-
CO	250	250	250	250	250	175	175	175	100	100
NO+NO ₂ e NO ₂	800	800	800	800	1800	450	450	450	350	350
Limites dinâmicos (d)	400	400	200	400	s/exceção: 400 / 200	300	300	150	200	100
SO ₂ +SO ₃ e SO ₂	2000	2000	400	400	400	1700 (e)	1700 (e)	400 (650)	35 100(f) 5 (g)	35 100(f) 5 (g)
% máximo de emissões de enxofre	-	40	15	25	15	-	40	15	-	-
Halogenados: HCl HF	200 30	200 30	100 15	200 30	200 30	30 5	30 5	30 5	- -	- -

Para diferentes tipos de fornos diferentes referencias de concentração de O₂ nos gases da combustão.
a- para alto-fornos 10 mg/m³ para material particulado, para gases industriais da produção de aço 100 mg/m³.
b- é válido somente para combustíveis sólidos que não seja carvão ou madeira.
c- para óleos combustíveis com componente de níquel maior que 12 mg/kg de combustível.
d- possibilidades de redução de emissões por fornos relacionados ou outras medidas do estado de arte de devem ser totalmente utilizadas. A conferência de Ministros de Meio Ambiente de 1984 definiram o alcance viável da redução de NO_x: estes valores são chamados de valores limites dinâmicos.
f- corresponde a 1% em óleo combustível.
g- gás líquido.

FONTE: BImSchG (1996)

ANEXO 2 – EMISSÕES-PADRÃO PARA PLANTAS QUE OPERAM COM RESÍDUOS DE COMBUSTÃO NA ALEMANHA

POLUENTE	EMISSÕES-PADRÃO em mg/m³		
	Valor diário médio	Valor médio de ½ hora	Valor representativo de 90% das amostras
CO	50	100	150
Mat. Particulado total	10	30	-
Carbono orgânico total	10	20	-
Compostos clorados inorgânicos – HCl	10	60	-
Compostos orgânicos fluorados como HF	1	4	-
Óxidos de enxofre como SO ₂	50	200	-
Óxidos nitrogenados como NO ₂	200	400	-
Metais e dioxinas	Valor médio acima do tempo de amostragem		
Cádmio, tálio e seus compostos	0,05 mg/m³ - total		
Mercúrio e compostos	0,05 mg/m³		
Antimônio, arsênico, chumbo, cromo, cobalto, cobre, manganês, nickel, vanadium, estanho e seus compostos.	0,5 mg/m³ - total		
Policlorinados dibenzodioxinas e furanos (PCDD/PCDF)	0,1 ng/m³		

FONTE: BImSchG (1996)

ANEXO 3 - PADRÕES DE EMISSÕES SELECIONADAS PARA PEQUENAS CHAMINÉS NA ALEMANHA

Combustível	Óleo combustível leve			Carvão Mineral, linhito, turfa	Madeira natural	Pedaços aparas de madeira	Alimento	Casca, palha	Madeira envernizada ou revestida, compensada ou aglomerada, sem preservativos		
Capacidade instalada em KW	11	> de 11	até 5000	15 a 1000	15 a 50	50 a 150	150 a 500	500 a 1000	50 a 100	100 a 150	500 a 1000
Emissão de particulados em mg/m³	-	-	-	150	150	150	150	150	150	150	150
Escurecimento nº de fuligem de Bacherach	3	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
CO em g/m³	-	-	-	-	4	2	1	0,5	0,8	0,5	0,3
SO ₂	0,2	0,2	0,2	1	-	-	-	-	-	-	-
Emissões de NO _x devem ser minimizadas na possibilidades do estado de arte tecnológico. Em fornos a gás somente as perdas de calor são limitadas na exaustão de gases.											

FONTE: BImSchG (1996)